Р. М. МАЛИНИН

РЕЗИСТОРЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

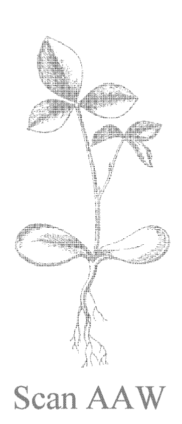
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

СПРАВОЧНАЯ СЕРИЯ
Выпуск 703

Р. М. МАЛИНИН

РЕЗИСТОРЫ

Издание 2-е, переработанное





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1969

6Ф2.13
М 19
УДК 621.316.18(03)

Малинин Р. М.

М 19 Резисторы, изд. 2-е, переработ., М., «Энергия», 1969.

80 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 703).

Брошюра содержит краткие сведения об отечественных резисторах, терморезисторах, варисторах и фоторезисторах. Даются рекомендации по выбору и правильному применению этих элементов в радиоэлектронной аппаратуре.

Предназначена для подготовленных читателей, занимающихся конструированием аппаратуры.

3-4-5
355-69

6Ф2.13

МАЛИНИН РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

Резисторы

Редактор *Ю. Л. Голубев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *В. В. Зеркаленкова*
Корректор *Л. К. Голышева*

Сдано в набор 4/XI 1968 г. Подписано к печати 30/IV 1969. Т 06916
Формат 84×108$^1/_{32}$ Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 5,1
Тираж 30000 экз. Цена 22 коп. Зак. 1554

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

α — температурный коэффициент сопротивления резистора, терморезистора, %/*град*.

α_{20} — температурный коэффициент сопротивления терморезистора при температуре 20° C, %/*град*.

α_0 — температурный коэффициент сопротивления цепи, состоящей из терморезистора и обычного резистора (резисторов) при температуре 20° C, %/*град*.

$\alpha_{св}$ — температурный коэффициент светового тока фоторезистора, *мка/град*.

β — коэффициент нелинейности варистора.

$D_{макс}$ — наибольший диаметр корпуса резистора (терморезистора, варистора, фоторезистора), *мм*

I — величина тока постоянного или переменного (действующее значение), *ма* или *а*.

$I_{ном}$ — номинальный ток варистора, *ма*.

$I_{св}$ — световой ток фоторезистора, *мка*, *ма*.

$I_{т}$ — темновой ток фоторезистора, *мка*.

$L_{макс}$ — наибольшая длина корпуса резистора, *мм*.

P — электрическая мощность, *вт*.

$P_{ном}$ — номинальная мощность рассеяния резистора (терморезистора, фоторезистора, варистора), *вт*, *мвт*.

$P_{мин}$ — минимальная мощность рассеяния терморезистора, *мвт*.

P_t — допустимая мощность рассеяния резистора (терморезистора, варистора, фоторезистора) при температуре $t_{ном}<t<t_{макс}$, *вт*, *мвт*.

$P_{t\,макс}$ — допустимая мощность рассеяния резистора (терморезистора, фоторезистора, варистора) при максимальной рабочей температуре, *вт*, *мвт*.

$P_{расс}$ — мощность, рассеиваемая резистором, *вт*.

$R_{д}$ — сопротивление обычного резистора, включенного в цепь последовательно с терморезистором, *ом*, *ком*.

$R_{мин}$ — минимальное (остаточное) сопротивление переменного или подстроечного резистора, *ом*.

$R_{н}$ — сопротивление нагрузки потенциометра, *ом*, *ком*, *Мом*.

$R_{нагр}$ — сопротивление предельно нагруженного номинала резистора, *ком*.

$R_{ном}$ — номинальное сопротивление резистора, терморезистора, *ом*, *ком*, *Мом*.

R_0 — общее сопротивление электрической цепи, состоящей из терморезистора и обычного резистора, *ом*, *ком*.

$R_п$ — сопротивление переменного или подстроечного резистора между его крайними выводами, *ом*, *ком*, *Мом*.
$R_{св}$ — световое сопротивление фоторезистора, *ом*, *ком*.
$R_{ск}$ — «начальный скачок» сопротивления переменного или подстроечного резистора — значение сопротивления, после которого оно плавно увеличивается при вращении оси, *ом*.
$R_{т.ном}$ — номинальное значение темнового сопротивления фоторезистора, *ком*.
$R_ш$ — сопротивление резистора, шунтирующего терморезистор в цепи с заданным ТКС, *ом*, *ком*.
R_{20} — сопротивление терморезистора при температуре 20° С, *ом*, *ком*.
t — температура, °С.
t — время, *сек*, *мсек*.
$t_{макс}$ — предельная рабочая температура резистора (терморезистора, фоторезистора, варистора), °С.
$t_{ном}$ — наибольшая температура, при которой допускается для резистора (терморезистора, варистора) рассеивание номинальной мощности, °С.
τ — тепловая постоянная времени терморезистора или варистора, *сек*.
$\tau_н$, $\tau_{сп}$ — постоянные времени нарастания и спадания светового тока фоторезистора, *мсек*.
U — постоянное напряжение, действующее значение напряжения переменного тока, *в*.
$U_{макс}$ — предельное рабочее напряжение резистора в цепи постоянного или переменного тока (действующее значение), *в*.
$U_{ном}$ — номинальное напряжение варистора, *в*.
U_m — предельное амплитудное значение напряжения на варисторе, *в*.

ВИДЫ РЕЗИСТОРОВ

Резисторы, сопротивление которых нельзя изменять при эксплуатации, называют постоянными резисторами (рис. 1,*а* и *б*).

Резисторы, с помощью которых осуществляют различные регулировки аппаратуры путем изменения их сопротивления вращением осей, называют переменными резисторами или потенциометрами (рис. 1, *в—е*).

Резисторы, сопротивление которых изменяют только в процессе налаживания или настройки аппаратуры с применением инструмента, например отвертки, называют подстроечными или регулируемыми (рис. 1,*ж* и *з*).

По роду материала, из которого изготовлены токопроводящие части резисторов, они разделяются на проволочные и непроволочные. В последних токопроводниками являются специальные металлические сплавы высокого удельного сопротивления, окислы металлов или иные полупроводниковые материалы.

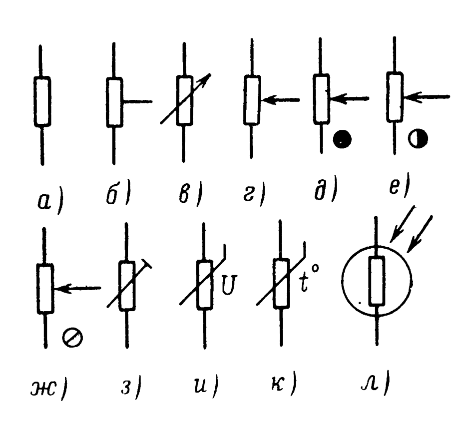


Рис. 1. Условные графические обозначения резисторов на принципиальных схемах.

а — общее обозначение постоянного резистора; *б* — постоянный резистор с отводом; *в*, *г* — общее обозначение переменного резистора; *д* — переменный резистор с ручкой управления на передней панели прибора (аппарата); *е* — то же на боковой или задней стенке; *ж* — подстроечный резистор, регулируемый с применением отвертки; *з* — то же без указания способа регулирования; *и* — варистор; *к* — терморезистор; *л* — фоторезистор.

Непроволочные резисторы в свою очередь разделяют на пленочные и объемные. В пленочных резисторах металлический сплав или иной материал с высоким удельным сопротивлением нанесен в виде тонкого слоя на поверхность конструктивного основания из керамики или иного изоляционного материала. Токопроводящая

часть объемного непроволочного резистора представляет собой стержень или тело иной формы из материала с большим удельным сопротивлением.

В радиоаппаратуре наиболее распространены непроволочные пленочные резисторы, обладающие практически линейной вольт-амперной характеристикой (ток через резистор практически пропорционален приложенному к нему напряжению, сопротивление мало зависит от температуры и других внешних воздействий). Такие резисторы получили широкое применение в силу следующих их преимуществ по сравнению с проволочными резисторами: а) значительно меньшие размеры и вес; б) малая индуктивность и собственная емкость; в) постоянство сопротивления в широком диапазоне частот; г) дешевизна и простота изготовления вплоть до сопротивлений в десятки мегом и более.

Особую группу составляют непроволочные нелинейные резисторы: а) варисторы, сопротивление которых сильно изменяется при изменении приложенного к ним напряжения (рис. 1,*и*); б) терморезисторы (термисторы), сопротивление которых резко изменяется при изменениях температуры и напряжения (рис. 1,*к*). Применяют также фоторезисторы (рис. 1,*л*) — приборы, сопротивление которых уменьшается под действием светового или иного облучения.

Резисторы каждого из упомянутых видов классифицируют: а) по применяемым проводящим материалам и типам (конструкции); б) по номинальной мощности рассеяния — наибольшей мощности, которая может длительное время рассеиваться на резисторе. Далее резисторы (кроме варисторов) классифицируют: в) по номинальной величине электрического сопротивления (сокращенно: номинал сопротивления); г) по допускаемому отклонению действительной величины сопротивления от номинальной (сокращенно: допуск).

Наименования типов постоянных резисторов, выпуск которых налажен в последние годы, начинаются с буквы С, после которой следует цифра, характеризующая примененный в нем проводящий материал и основную конструктивную особенность резистора:

1 — пленочный углеродистый или бороуглеродистый;
2 — металлопленочный или металлоокисный;
3 — пленочный композиционный;
4 — объемный;
5 — проволочный.

После буквы с цифрой ставится черточка (дефис) и дается порядковый номер конструктивного варианта резистора.

Переменные непроволочные резисторы СП, кроме того, классифицируют по характеру изменения сопротивления между их крайними и средними выводами при вращении их осей. Изготовляют переменные непроволочные резисторы следующих видов: а) сопротивление которых между средним выводом и любым из крайних выводов изменяется линейно, т. е. пропорционально углу поворота оси (линия *А* на рис. 2); б) сопротивление которых между средним и левым выводом при вращении подвижной системы по часовой стрелке (вид со стороны оси, контактные выводы внизу) изменяется по логарифмической кривой — вначале относительно быстро и далее медленно (линия *Б* на рис. 2); в) у которых сопротивление между средним и левым выводом при вращении оси по часовой стрелке изменяется по обратно логарифмической (показательной) кривой — вначале относительно медленно и далее быстрее (линия *В*). Кроме

того, существуют переменные непроволочные резисторы, сопротивление которых в пределах средней части полного угла поворота оси изменяется линейно, вначале по обратно логарифмическому и в конце — по логарифмическому закону (штриховая линия на рис. 2).

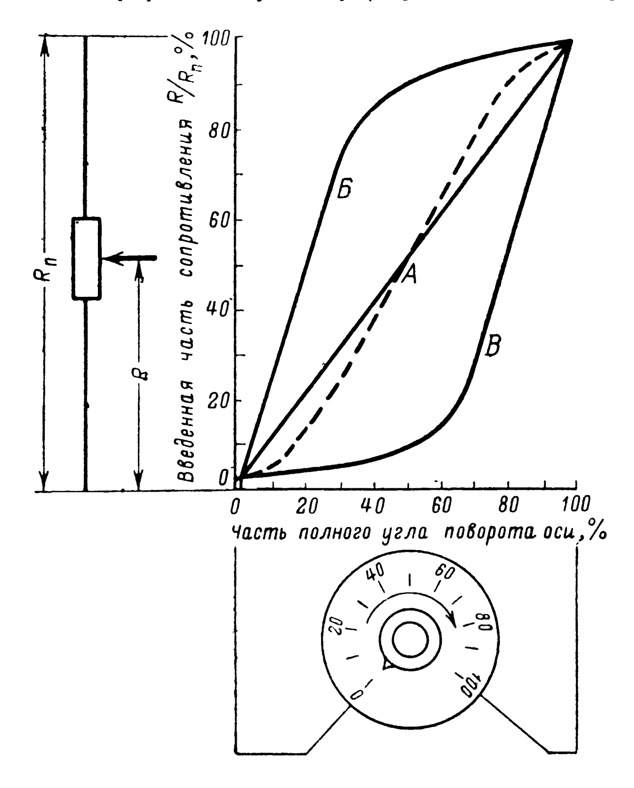


Рис. 2. Функциональные характеристики переменных и подстроечных непроволочных резисторов.

Кривые эти носят название функциональных характеристик переменных и подстроечных резисторов.

ПАРАМЕТРЫ РЕЗИСТОРОВ

Номинальное сопротивление резистора — это обозначенное на нем сопротивление. Для переменного резистора — это сопротивление между его крайними выводами. Номинальные сопротивления терморезисторов измеряют при температуре 20° С с отклонением не более ±1 *град*, поскольку их сопротивления сильно зависят от температуры. Номинальные сопротивления фоторезисторов измеряют в отсутствие их освещенности (облучения); эти сопротивления называют темновыми номинальными сопротивлениями.

Образование рядов номинальных сопротивлений. Отечественная электронная промышленность, как и промышленность других стран, изготовляет резисторы со стандартными номинальными значениями сопротивлений, соответствующими рекомендации Международной электротехнической комиссии, в работе которой принимают участие и представители Советского Союза.

Эти значения образуют десятичные ряды геометрической прогрессии. Напомним, что рядом геометрической прогрессии называют последовательность следующих одно за другим чисел, в которой каждое последующее число больше или меньше предыдущего в одно и то же определенное число раз. Отношение следующих друг за другом чисел называют знаменателем прогрессии. Будем обозначать его буквой m.

Математическим рядам величин сопротивлений резисторов широкого применения присвоены номера (условные обозначения) Е6, Е12 и Е24. Номер ряда соответствует количеству номинальных величин в каждом десятичном интервале, т. е. 1—10, 10—100 и т. д. Например, в ряде Е6 имеется по 6 номиналов сопротивлений порядка ом, десятков ом, сотен ом, килоом, десятков килоом и т. д.

Знаменателями прогрессии являются корни степени, соответствующей номеру ряда a из числа десять, т. е. знаменатель прогрессии

$$m = \sqrt[a]{10}. \qquad (1)$$

Так, для ряда Е6 $m = \sqrt[6]{10} = 1,47$;

для ряда Е12 $m = \sqrt[12]{10} = 1,21$;

для ряда Е24 $m = \sqrt[24]{10} \approx 1,1$.

Каждый член ряда номиналов определяется формулой

$$N = m^b, \qquad (2)$$

где N — номинальная величина сопрогивления;

b — целое положительное число от 1 до a.

Вычисленные по последней формуле величины округляют до второй или первой значащей цифры (если по расчету получено число, состоящее из большего количества значащих цифр). Полученные таким образом ряды номинальных величин продлевают в сторону бóльших и меньших значений путем умножения и деления вычисленных по формуле (2) и округленных величин на 10, 100, 1 000 и т. д.

Каждый последующий ряд с большим номером включает в себя все члены предыдущего ряда. Так, например, ряд Е12 содержит все члены ряда Е6, а ряд Е24—все члены ряда Е12.

Фактическое значение сопротивления каждого данного резистора может отличаться от обозначенной на нем номинальной величины. Ряду Е6 соответствует наибольшее допустимое отклонение от номинальной величины ±20%, ряду Е12—±10% и ряду Е24—±5%.

Описанным способом и получены международные стандартные ряды номинальных значений сопротивлений резисторов, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Ряды номинальных значений сопротивлений

Условные обозначения рядов								
E6	E12	E24	E6	E12	E24	E6	E12	E24
Номинальные сопротивления, *ом, ком, Мом*								
1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100
		1,1			11			110
	1,2	1,2		12	12		120	120
		1,3			13			130
1,5	1,5	1,5	15	15	15	150	150	150
		1,6			16			160
	1,8	1,8		18	18		180	180
		2,0			20			200
2,2	2,2	2,2	22	22	22	220	220	220
		2,4			24			240
	2,7	2,7		27	27		270	270
		3,0			30			300
3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330
		3,6			36			360
	3,9	3,9		39	39		390	390
		4,3			43			430
4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	470
		5,1			51			510
	5,6	5,6		56	56		560	560
		6,2			62			620
6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	680
		7,5			75			750
	8,2	8,2		82	82		820	820
		9,1			91			910
Допускаемые отклонения от номинальных величин, %								
±20	±10	±5	±20	±10	±5	±20	±10	±5

Ряды номинальных значений сопротивлений обладают следующим свойством. Фактическое значение сопротивления любого номинала при предельном положительном допуске совпадает с фактическим значением сопротивления ближайшего большого номинала в данном ряде при предельном отрицательном допуске (или эти значения очень близки друг к другу).

Так, например, резистор с маркировкой 2,2 *ком* ±20% при наибольшем возможном положительном отклонении от номинала, очевидно, будет иметь сопротивление 2,2+(0,2·2,2)=2,64 *ком*. Вместе с тем резистор со следующим номинальным сопротивлением 3,3 *ком* в том же ряду E6 при наибольшем возможном отклонении от номинала в сторону уменьшения будет иметь такое же сопротивление, так как 3,3—(0,2·3,3)=2,64 *ком*. Отсюда видно, что выпускать резисторы с номинальными сопротивлениями больше 2,2 *ком* и меньше

3,3 *ком* по ряду Е6, т. е. с допуском ±20%, не имеет практического смысла.

На заводах-изготовителях постоянные непроволочные резисторы широкого применения разбраковывают так, что фактическое отклонение от номинального сопротивления резисторов с маркировкой «5%» не превышает ±3÷4% и с маркировкой «10%» — не более ±8÷9%.

Переменные непроволочные резисторы с номинальными сопротивлениями до 220 *ком* изготавливают обычно по ряду Е6 с наибольшими допускаемыми отклонениями от номинала ±20%, а с большими номинальными сопротивлениями — ±30%. Переменные непроволочные резисторы некоторых старых типов могут иметь отклонение сопротивления до ±30% и при номиналах менее 220 *ком*.

Постоянные резисторы, предназначенные специально для использования в измерительной аппаратуре и в других случаях, когда требуется бо́льшая точность сопротивлений применяемых резисторов (точные, прецизионные резисторы), изготовляются с меньшими отклонениями от номинальных сопротивлений: ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1 и ±2%. Такие резисторы обычно выпускают с номинальными значениями сопротивлений по рядам с меньшими знаменателями прогрессии.

Заметим, что фактические отклонения значений сопротивлений резисторов всех видов и типов не выходят за пределы допускаемых только в нормальных условиях (температура 15—25° С, относительная влажность не свыше 80%); в иных климатических условиях отклонения могут быть больше.

Номинальная мощность рассеяния. Чем больше сопротивление резистора R и чем больше ток I через него (чем больше падение напряжения U на резисторе), тем большая мощность P нагревает резистор; при этом $P=I^2R$ или $P=U^2/R$. Приобретаемое резистором тепло рассеивается в окружающее пространство. Чем больше поверхность резистора и чем ниже температура окружающей среды, тем легче условия теплопередачи от резистора в эту среду. Если ток через резистор (падение напряжения на нем) неизменен, то по истечении некоторого времени наступает состояние теплового равновесия: количество тепла, получаемого резистором за единицу времени, становится равным количеству рассеиваемого им тепла, и температура резистора устанавливается (перестает возрастать).

Допустимая для резистора температура зависит от его конструкции (геометрических размеров, конфигурации, примененных материалов и т. п.). При превышении этой температуры (перегрев) резистор может выйти из строя.

Номинальной мощностью рассеяния резистора называют наибольшую мощность постоянного или переменного тока, при которой резистор может длительное время надежно работать, если температура окружающей среды не превышает некоторой $t_{ном}$. Для резисторов различных типов эта температура указана в табл. 2 (при этом температура нагрева резистора не превышает допустимой). Если вследствие повышения температуры в месте установки аппаратуры, а также выделения тепла электронными лампами, транзисторами, трансформаторами питания и другими элементами схемы температура внутри аппаратуры будет больше величины $t_{ном}$, то мощность рассеяния резистора должна быть ниже номинальной. Снижение производится по линейному закону.

Таблица 2

Рабочие температуры резисторов

Тип резистора	$t_{ном}$, °C	$t_{макс}$, °C	Тип резистора	$t_{ном}$, °C	$t_{макс}$, °C
Постоянные линейные резисторы					
ВС-0,125 (УЛМ)—ВС-10	40	100	УЛИ-0,125—УЛИ-1	60	125
КИМ-0,05—КИМ-0,125	55	100	БЛП-0,125—БЛП-1	70	100
МЛТ-0,125 (МЛМ)—МЛТ-2	70	125	МГП-0,5	55	55
МТ-0,125—МТ-2	150	200	С2-10-0,25—С2-10-2	70	125
ТВО-0,125—ТВО-20	85	155	С2-14-0,25—С2-14-1	70	125
МОН-0,5—МОН-2	70	125	С2-15-0,5, С2-15-1	70	125
С2-6-0,125—С2-6-2	250	300	ПЭ-7,5—ПЭ-150	40	155
С2-7Е-0,5—С2-7Е-2	85	85	ПЭВ-3—ПЭВ-150	40	155
С2-11-0,125—С2-11-0,25	100	155	ПЭВТ-3—ПЭВТ-100	300	450
С4-1-0,25—С4-1-2	300	350	ПЭВР-10—ПЭВР-100	40	155
Переменные и подстроечные непроволочные резисторы					
СП-I—СП-V	25	70	СП3-7	20	70
ТК, ТКД, ВК, ВКУ, СНК, СНВКД	20	70	СП3-8	40	70
			СП3-9	40	100
СП-0,4	20	70	СП3-10	40	100
СП3-1, СП3-2	40	70	СП3-12	20	70
СП3-3	40	55	СПО-0,125—СПО-0,5	85	125
СП3-4	40	70	СПО-1	85	125
СП3-5, СП3-6	40	100	СПО-2	85	125

Продолжение табл. 2

Тип резистора	$t_{ном}$, °C	$t_{макс}$, °C	Тип резистора	$t_{ном}$, °C	$t_{макс}$, °C
		Терморезисторы			
КМТ-1	20	180	ММТ-9, ММТ-12, ММТ-13	20	125
КМТ-4, КМТ-12, КМТ-17	20	125	СТ1-17	20	100
КМТ-8	20	70	СТ3-17	20	100
ММТ-1, ММТ-4	20	125	СТ3-23	20	125
ММТ-6	20	120			
ММТ-8	20	170			
		Варисторы			
СН1-1-1, СН1-1-2	70	100	СН1-3	—	75
СН1-2-1, СН1-2-2	60	100			
		Фоторезисторы			
ФСА-1, ФСА-1а, ФСА-Г1, ФСА-Г2	20	70	СФ2-1, СФ2-2	20	85
			СФ3-1, СФ3-2	20	85
ФСД-1, ФСД-1а, ФСД-Г1	20	40	СФ4-1	20	40
ФСК-1, ФСК-1а, ФСК-Г1	20	85			

Максимальные рабочие температуры $t_{макс}$ для резисторов различных типов, которые недопустимо превышать при эксплуатации, указаны в той же табл. 2. Номинальная мощность рассеяния терморезисторов регламентируется для температуры окружающей среды 20° С, а для фоторезисторов — при температуре окружающей среды, не превышающей 25° С, и освещенности 200 *лк*.

В реальных условиях теплового режима любой радиовещательной аппаратуры резисторы типов МЛТ, МТ, ПЭ, ПЭВ, ПЭВР практически можно использовать в электрическом режиме, соответствующем полной номинальной мощности рассеяния (из соображений надежности резисторы МЛТ желательно нагружать мощностью не свыше 70% номинальной); резисторы ВС в ламповой аппаратуре рекомендуется ставить в режим, соответствующий не более половины номинальной мощности рассеяния.

Номинальную мощность рассеяния постоянного резистора с линейной вольт-амперной характеристикой, а также объемных переменных резисторов типа СПО обычно указывает число, входящее в его наименование. Например, номинальная мощность рассеяния резистора вида ВС-0,25 равна 0,25 *вт*, резистора МЛТ-1—1 *вт*, резистора ПЭВ-10—10 *вт*. Резисторы с различными номинальными мощностями рассеяния обозначают на принципиальных схемах, как показано на рис. 3.

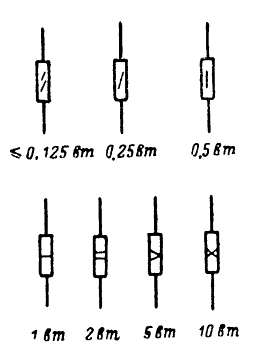


Рис. 3. Условные графические обозначения постоянных резисторов с указанием номинальных мощностей рассеяния.

Предельное напряжение — это наибольшее напряжение, при котором резистор может надежно работать. Постоянное напряжение или действующее значение переменного напряжения, которое допустимо прикладывать к постоянному резистору или переменному с кривой вида *А* (падение напряжения на резисторе), с данной мощностью рассеяния P_t [*вт*] и данным сопротивлением $R_{ном}$ [*ом*], вычисляют по формуле

$$U = \sqrt{P_t R_{ном}} \, [в]. \quad (3)$$

При температуре, не превышающей $t_{ном}$, принимают $P_t = P_{ном}$, а при более высоких температурах (до $t_{макс}$) величина P_t линейно снижается, как сказано выше.

Если на резисторе будет действовать напряжение, превышающее вычисленное по формуле (3), рассеиваемая мощность превысит допустимую, резистор перегреется и может быстро выйти из строя.

Для переменных резисторов с нелинейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси (кривые вида *Б* и *В* на рис. 2) полученную по формуле (3) величину необходимо уменьшить в 1,4 раза.

Для непроволочных резисторов каждого данного типа с данной номинальной мощностью рассеяния существует некоторое предельное постоянное и переменное напряжение $U_{макс}$, при превышении которого может возникнуть электрическое перекрытие между частями резистора: искровой разряд, электрическая дуга. Чем больше

длина резистора, тем больше и предельное рабочее напряжение. Предельным напряжением фоторезистора является наибольшее рабочее напряжение, которое допустимо подавать на него при освещенности 200 *лк*.

Предельно нагруженный номинал резистора $R_{нагр}$ — это резистор с таким номинальным сопротивлением, при котором номинальная мощность рассеяния совмещается с предельным рабочим напряжением. Для постоянных непроволочных резисторов широкого применения эти номиналы составляют сотни тысяч ом: $R_{нагр}=$ $=180$ *ком* для резисторов УЛМ (ВС-0,125); 470—510 *ком* для ВС-0,25—ВС-2; 300—330 *ком* для МЛМ (МЛТ-0,125); 240—270 *ком* для МЛТ-0,25—МЛТ-1 и 270—300 *ком* для МЛТ-2 (зависит от фактического отклонения сопротивления от номинальной величины).

Резисторы с меньшими номинальными сопротивлениями ($R_{ном}<$ $<R_{нагр}$) могут во время работы рассеивать мощности, достигающие номинальных величин при напряжениях, вычисленных по формуле (3); эти напряжения всегда меньше предельных напряжений $U_{макс}$. С другой стороны, резисторы с номинальными сопротивлениями $R_{ном}>R_{нагр}$ всегда рассеивают мощности ниже номинальных и могут работать при напряжениях $U_{макс}$, указанных в приводимых ниже табл. 4—6 независимо от значения сопротивления.

Для переменных непроволочных резисторов нормируются предельные напряжения между крайними выводами.

Требуемую мощность рассеяния резистора по падению напряжения на нем или току через него можно определить по графику, приведенному на рис. 4.

Пример 1. Резистор сопротивлением 15 *ком* нужно подключить к источнику напряжения 100 *в*. Определить минимальную необходимую мощность рассеяния резистора.

Так как задано напряжение, пользуемся на графике линиями для шкалы напряжений. Вертикальная линия, проведенная от отметки «15 *ком*» шкалы «*омы — килоомы*», пересекает горизонтальную линию, проведенную от отметки «100 *в*» шкалы «*вольты*» в точке между наклонными линиями с обозначениями «0,5 *вт*» и «1 *вт*». Следовательно, нужен резистор, допускающий рассеяние мощности 1 *вт* (например МЛТ-1, если температура не превышает 70° С).

Пример 2. Резистор автоматического смещения в цепи катода лампы оконечного каскада должен иметь сопротивление 220 *ом*. Через него будет проходить ток 85 *ма* (суммарный ток анода и экранирующих сеток пентода). Выбрать вид резистора, учитывая, что температура внутри радиоаппарата будет 60° С.

Поскольку задан ток через резистор, пользуемся линиями для шкалы токов. Вертикальная линия, проведенная от отметки 220 *ом*, пересекает горизонтальную линию, проведенную от отметки 85 *ма* шкалы «*миллиамперы*», в точке между наклонными линиями с обозначениями «1 *вт*» и «2 *вт*». Следовательно, для автоматического смещения нужно применить резистор вида МЛТ-2. Резистор вида ВС-2 непригоден, так как в аппаратуре по условию будет температура $t>t_{ном}=40°$ С для резисторов типа ВС (см. табл. 2).

Температурный коэффициент сопротивления. Электропроводность всякого вещества изменяется при изменениях температуры; изменяется и сопротивление резисторов. Величину, характеризующую относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1° С, называют температурным коэффициентом сопротивления (сокращенно: ТКС); обозначают его греческой буквой α

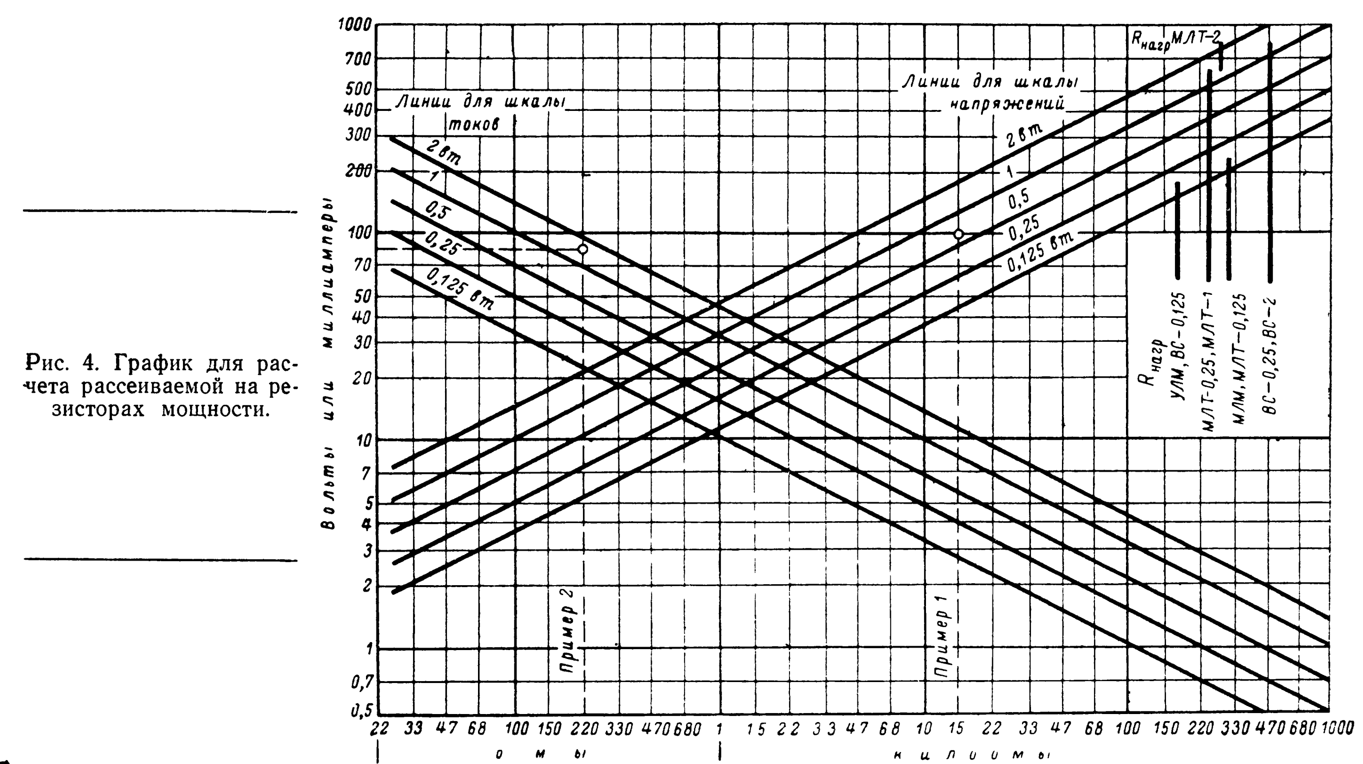


Рис. 4. График для расчета рассеиваемой на резисторах мощности.

(альфа). Если при увеличении температуры сопротивление увеличивается, а при уменьшении уменьшается, то ТКС положительный и перед его численным значением ставят знак плюс; если же при повышении температуры сопротивление уменьшается (при понижении увеличивается), то ТКС отрицательный и перед его численным значением ставят знак минус.

У линейных непроволочных резисторов широкого применения (ВС, МЛТ) ТКС имеет порядок десятитысячных и тысячных долей на 1° С, а у специальных резисторов, например предназначенных для применения в измерительной аппаратуре, он еще меньше (табл. 3). При этом у непроволочных резисторов, в которых в качестве токопроводящего материала используется углерод (резисторы типов ВС, УЛИ и др.), ТКС, как правило, отрицательный.

Шумы резисторов. Токопроводящий материал непроволочного резистора состоит из большого числа отдельных мелких контактирующих между собой частиц, образующих токопроводящие цепочки. Общее сопротивление резистора определяется в значительной мере переходными сопротивлениями между этими частицами. Вследствие того, что контакты между ними не постоянны и переходные сопротивления между ними непрерывно и беспорядочно изменяются, проходящий по непроволочному резистору электрический ток так же непрерывно и беспорядочно изменяется по величине. В свою очередь это приводит к тому, что непрерывно изменяется и падение напряжения на резисторе — на его концах возникает переменная э. д. с. Когда непроволочный резистор работает в усилительной схеме, последующие каскады усиливают эту э. д. с. вместе с полезным сигналом. При большом усилении на выходе устройства может получиться значительное напряжение помехи.

Если на выходе включен телефон (громкоговоритель), то в нем будут слышны шумы. Поэтому переменная э. д. с., самопроизвольно возникающая на непроволочном резисторе, называется э. д. с. ш у м о в, а описанное влияние — шумами непроволочного резистора. При увеличении напряжения, приложенного к резистору, э. д. с. шумов увеличивается.

Шумы непроволочного резистора оценивают по величине возникающей на выводах резистора э. д. с. шумов, отнесенной к 1 *в* приложенного к резистору постоянного напряжения. Измеряют э. д. с. шумов резисторов в полосе частот 50—5 000 *гц* при номинальной рассеиваемой мощности, но при напряжении не выше предельного. Полоса частот определяется полосой пропускания усилителя, входящего в измерительное устройство.

Непроволочные постоянные резисторы ВС, МЛТ, МТ и С2-6 разделяются по величине шумов на две группы:

группа А — с э. д. с. шумов не более 1 *мкв/в*;
группа Б — с э. д. с. шумов не более 5 *мкв/в*.

У постоянных резисторов типа МГП всех номиналов, КИМ-0,05, КИМ-0,125 и ТВО-0,25 — ТВО-20 с сопротивлениями до 100 *ком* э. д. с. шумов не превышает 5 *мкв/в*, а у резисторов тех же типов с бо́льшими сопротивлениями, у резисторов ТВО-0,125 и С4-1 — 10 *мкв/в*.

У переменных композиционных резисторов с сопротивлениями менее 100 *ком* э. д. с. шумов имеет порядок 5—10 *мкв/в*, при сопротивлениях 100—470 *ком* — 10—20 *мкв/в*, а при еще больших сопротивлениях достигает 30—50 *мкв/в*.

Таблица 3

Температурные коэффициенты сопротивления непроволочных резисторов

Тип резистора	Пределы $R_{ном}$	α, %/*град**
Постоянные резисторы широкого применения		
УЛМ (ВС-0,125)	≤1 *Мом*	−0,12
ВС-0,25—ВС-2	<1 *Мом* ≥1 *Мом*	−0,07 −0,12
ВС-5, ВС-10	≤10 *ком* >10 *ком*	−0,05 −0,10
МЛТ-0,125—МЛТ-2, МУН-0,5—МУН-2	<1 *Мом* ≥1 *Мом*	±0,07 ±0,10
МТ-0,125—МТ-2	<510 *ком* ≥510 *ком*	±0,07 ±0,12
КИМ-0,05—КИМ-0,125	≤1 *Гом*	±0,20
ТВО-0,125	≤20 *ом* >20 *ом*	+0,06 −0,12
ТВО-0,25	<10 *ом* 10 *ом*—100 *ком* >100 *ком*	±0,06 −0,09 −0,12
ТВО-0,5—ТВО-2	≤100 *ком* >100 *ком*	−0,09 −0,12
ТВО-5, ТВО-10	≤470 *ком* >470 *ком*	−0,09 −0,12
МОН-0,5—МОН-2 С2-6-0,125—С2-6-2	1—100 *ом* 100 *ом*—470 *ком* ≥510 *ком*	±0,05 ±0,07 ±0,12
С2-7Е-0,5—С2-7Е-2 С2-11-0,125—С2-11-0,25	8,2—22 *ом* 1—100 *ом*	±0,05 ±0,03
С4-1-0,25—С4-1-2	10—18 *ом* ≥20 *ом*	+0,1 −0,15

* Для постоянных и переменных резисторов с линейной вольт-амперной характеристикой указаны наибольшие значения ТКС в интервале температур от 20° С до предельной $t_{макс}$ (см. табл. 2). Для терморезисторов даны средние значения ТКС при температуре 20±1° С (α_{20}) и возможные отклонения от этих значений.

Для варисторов приведены наибольшие значения относительного температурного коэффициента тока во всем диапазоне рабочих температур.

Для фоторезисторов приведены наибольшие значения температурного коэффициента светового тока во всем интервале рабочих температур при освещенности 200 *лк*.

Тип резистора	Пределы $R_{ном}$	α, %/*град**
Постоянные резисторы с повышенной стабильностью параметров		
УЛИ-0,125	<10 *ом* 10 *ом*—100 *ком* >100 *ком*	—0,03 —0,05 —0,10
УЛИ-0,25—УЛИ-1	<10 *ом* 10 *ом*—200 *ком* >200 *ком*	—0,03 —0,05 —0,10
БЛП-0,1—БЛП-1 класса А класса Б	 ≤100 *ком* ≤100 *ком*	 —0,01 —0,02
МГП-0,5 МГП-0,5-Б	≤5,1 *Мом* ≤5,1 *Мом*	±0,01 ±0,02
С2-10-0,25—С2-10-2	1—50 *ом* 50 *ом*—3 *ком*	От —0,03 до +0,04 ±0,02
С2-14-0,25—С2-14-1, С2-15-0,25—С2-15-1 группы А группы Б группы В группы Г группы Д	 10 *ком*—1 *Мом* 1 *ом*—1 *Мом* 1 *ом*—1 *Мом* 1 *ом*—1 *Мом* 1 *ом*—1 *Мом*	 ±0,0025 ±0,005 ±0,01 ±0,02 ±0,03
Переменные и подстроечные резисторы		
СП-I—СП-V	≤68 *ком* >100 *ком*	±0,10 ±0,20
СП3-1—СП3-4	≤100 *ком* >100 *ком*	±0,10 ±0,20
СП3-5	≤100 *ком* >100 *ком*	±0,10 ±0,14
СП3-6	≤68 *ком* >68 *ком*	±0,10 ±0,20
СП3-9	≤68 *ком* >68 *ком*	±0,14 ±0,20
СП3-10	≤100 *ком* >100 *ком*	±0,10 ±0,20
СПО-0,15—СПО-2	<100 *ком* >100 *ком*	—0,15 —0,20

Тип резистора	Пределы $R_{ном}$	α, %/*град**
	Терморезисторы	
КМТ-1, КМТ-4, КМТ-8, КМТ-12	≤1 *Мом*	—6,3±2,1
ММТ-1, ММТ-4 ММТ-6	≤220 *ком* ≤100 *ком*	—3,7±1,3 —2,4 *мин*
ММТ-8	≤47 *ом* 56—100 *ом* ≥120 *ом*	—2,8±0,4 —3,0±0,4 —3,3±0,7
ММТ-9, ММТ-13	≤4,7 *ком*	—3,7±1,3
ММТ-12	4,7—47 *ом* 68—100 *ом* 120 *ом*—1 *ком*	—2,8±0,4 —3,0±0,4 —3,3±0,7
СТ1-17, КМТ-17	≤22 *ком*	—5,6±1,4
СТ3-17	33 и 47 *ом* 68—150 *ом* 220 и 330 *ом*	—3,5±0,5 —3,6±0,5 —4,2±0,4
СТ3-23	2,2—4,7 *ом*	—3,4±0,35
	Варисторы	
СН1-1-1, СН1-1-2	—	—0,6
СН1-2-1, СН1-2-2	—	—0,7
СН1-3	—	—0,7
	Фоторезисторы	
ФСА-1, ФСА-1а, ФСА-Г1, ФСА-Г2	—	—1,5
ФСД-1, ФСД-Г1, СФ3-1	—	—1,5
ФСК-1, ФСК-1а, ФСК-Г1		—0,2

Прецизионные резисторы типа БЛП — БЛПа имеют э. д. с. шумов не более 0,5 *мкв/в*, а резисторы типов С2-14 и С2-15 — не более 1 *мкв/в*.

Электродвижущая сила шумов как постоянных, так и переменных резисторов с номинальными сопротивлениями меньше 10 *ком* не нормируется.

Влагостойкость резисторов является важной их эксплуатационной характеристикой. Ее оценивают по относительному изменению сопротивления резистора после длительного его пребывания в атмосфере с высокой влажностью по сравнению с величиной, измеренной в нормальных условиях. У непроволочных резисторов это изменение не превышает нескольких процентов, причем у низкоомных резисторов оно, как правило, значительно меньше, чем у высокоомных.

МАРКИРОВКА РЕЗИСТОРОВ

На резисторах больших размеров обозначают номинальную мощность рассеяния, номинальное сопротивление и допускаемое отклонение от него.

На корпусе переменного непроволочного резистора ставят букву, указывающую характер изменения его сопротивления при вращении оси (*А*, *Б* или *В* — см. рис. 2).

На теле непроволочного постоянного резистора типа ВС, МЛТ и МТ с э. д. с. шумов не более 1 *мкв/в* ставят букву *А*.

Особенности маркировки малогабаритных резисторов. На малогабаритных резисторах после сопротивления обозначение «ом» обычно не ставят, а вместо единиц измерения «килоом» и «мегом» ставят соответственно букву *К* или *М*.

При маркировке допускаемого отклонения от номинального значения сопротивления на малогабаритных резисторах опускают знаки ±, а на резисторах некоторых типов обозначение ±5% заменяют римской цифрой I (первый класс точности), а обозначение ±10% цифрой II (второй класс точности). На резисторах типа ВС римская цифра может располагаться рядом с обозначением года выпуска резистора.

Если на постоянном резисторе допускаемое отклонение вообще не указано, его фактическое сопротивление может отличаться от маркированной величины до ±20%.

Маркировка постоянных непроволочных резисторов типов ТВО, переменных и подстроечных резисторов типов СП3-1 — СП3-3 и других малогабаритных резисторов новых отечественных типов осуществляется в соответствии со следующими правилами кодированных (сокращенных) обозначений величин сопротивлений и допустимых отклонений от них (ГОСТ 11076-64).

1. Приняты следующие сокращенные обозначения единиц измерения: *Е* — омы, *К* — килоомы, *М* — мегомы, *Г* — гигаомы (тысячи мегом).

2. Сопротивление во всех случаях обозначается только двумя цифрами. В связи с этим сопротивления от 100 до 910 *ом* выражаются в сотых долях килоома, а сопротивления от 100 000 до 910 000 *ом* — в сотых долях мегома (примеры подобных обозначений приведены ниже).

3. Если номинальное сопротивление выражается целым числом, то буквенное обозначение единицы измерения ставится после этого

числа. Например, величина 27 *ом* обозначается *27E*, величина 27 *ком* обозначается *27K*, а величина 12 *Мом* обозначается *12M*.

4. Когда номинальное сопротивление выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то нуль целых и запятая из маркировки исключаются, а буквенное обозначение единицы измерения располагается впереди числа. Например, величина 0,27 *ом* обозначается *E27*, величина 270 *ом* (т. е. 0,27 *ком* — см. п. 2) обозначается *K27*, а величина 270 *ком* обозначается *M27*.

5. Если номинальное сопротивление выражается целым числом с десятичной дробью, то целое число ставится впереди, а десятичная дробь после буквы, обозначающей единицу измерения (буква эта заменяет запятую после целого числа). Например, величины 2,7 *ком* и 2,7 *Мом* обозначают соответственно *2K7* и *2M7*; величины 1 *ком* и 1 *Мом* обозначают *1K0* и *1M0*.

6. Допускаемое отклонение от номинального значения сопротивления постоянного резистора кодируется буквой, располагаемой после последней цифры, указывающей номинальное сопротивление.

Допускаемое отклонение от номинального сопротивления, %	Соответствующее кодированное обозначение
±0,1	*Ж*
±0,2	*У*
±0,5	*Д*
±1	*Р*
±2	*Л*
±5	*И*
±10	*С*
±20	*В*
±30	*Ф*

Так, например, маркировка малогабаритного резистора с номинальным сопротивлением 4,7 *ком* при допускаемом отклонении ±10% имеет следующий вид: *4K7C*.

Маркировка резисторов фирмы «Тесла». Система обозначений номинальных сопротивлений и допускаемых отклонений имеющихся у нас в продаже малогабаритных резисторов чехословацкого народного предприятия «Тесла» подобна введенной нашим ГОСТ, но имеет следующие отличия:

1. Сопротивления до 910 *ом*, выражаемые целыми числами, обозначаются этими числами без указания единиц измерения. В тех же случаях, когда номинальное сопротивление содержит десятичную дробь, целое число отделяется от дроби латинской буквой *J* (вместо буквы *E* в советском стандарте).

2. Гигаомы обозначаются буквой *G*.

3. Допускаемое отклонение от номинальной величины кодируется латинской буквой, которая ставится после последней цифры и отделяется от нее косой дробной чертой.

Допускаемое отклонение от номинальной величины, %	Соответствующее кодированное обозначение
±0,5	*E*
±1	*D*
±2	*C*
±5	*B*
±10	*A*

Так, например, маркировка *27/A* соответствует сопротивлению 27 *ом* ±10%, обозначение *2J7/B* — сопротивлению 2,7 *ом* ±5%, а обозначение *27K/A* — сопротивлению 27 *ком* ±10%.

Закон, по которому изменяется сопротивление переменного резистора фирмы «Тесла» при вращении его подвижной системы по часовой стрелке (вид со стороны, противоположной оси), маркируется на его корпусе такими буквами:

N — линейная зависимость;

E — экспоненциальная зависимость;

G — логарифмическая зависимость;

Y — то же, имеется отвод от $^1/_3$ длины проводящего элемента;

Z — то же, отводы от $^1/_3$ и $^2/_3$ длины проводящего элемента.

Эти буквы отделяются от обозначения номинального сопротивления дробной чертой.

Номинальная мощность рассеяния на малогабаритных постоянных непроволочных резисторах как отечественного, так и иностранного производства не маркируется; ее легко определить по геометрическим размерам резистора (см. ниже табл. 4 и 5).

ПОСТОЯННЫЕ НЕПРОВОЛОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Непроволочный пленочный постоянный резистор представляет собой цилиндрический керамический стержень или керамическую трубку, на поверхность которых нанесен тонкий слой материала с малой электропроводностью. На концы стержня (трубки) напрессованы латунные луженые или посеребренные хомутики с «хвостами» из того же материала или колпачки из такого же материала с проволочными медными выводами, расположенными по оси резистора. Стержень (трубка) вместе с хомутиками или колпачками покрыт влагостойкой эмалью. Резистор включается (подпаивается) в схему концами ленточных или проволочных выводов.

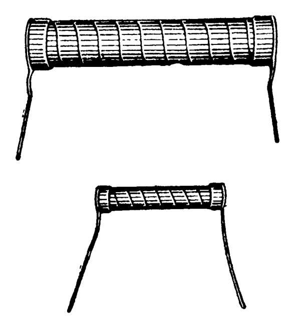


Рис. 5. Непроволочные постоянные резисторы видов ВС-0,125 (УЛМ), ВС-0,25—ВС-2 и УЛИ-0,125—УЛИ-1.

Резисторы типа ВС (табл. 4). У любого резистора видов УЛМ, ВС-0, 125—ВС-2 (рис. 5) на поверхность керамического стержня нанесена токопроводящая пленка углерода толщиной порядка тысячных — десятых долей микрона; у высокоомных резисторов слой тоньше, чем у низкоомных. Удельное объемное сопротивление пленки углерода около 10^{-3} *ом · см*.

У резисторов видов ВС-0,25—ВС-2 с номинальными сопротивлениями 100—240 *ом* и более на всю толщину слоя углерода прорезана спиральная канавка шириной 0,3—0,8 *мм*, превращающая этот слой в ленточную спираль. Вследствие этого путь электрического тока от одного конца стержня до другого удлиняется, так как ток проходит последовательно по всем виткам спирали из углерода. Чем тоньше слой углерода и чем больше витков в спирали, т. е. чем меньше ширина ее витков, тем больше получается сопротивление. На концы науглероженного стержня туго напрессованы

Таблица 4

Постоянные непроволочные пленочные резисторы

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$**	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t макс}$, *мвт*	$U_{макс}$, *в*
		Углеродистые пленочные			
УЛМ (ВС-0,125)	⌀ 2,5×7	10 *ом*—1 *Мом*	0,125	15	150
ВС-0,25	⌀ 5,5×17	27 *ом*—2 *Мом*	0,25	30	350
ВС-0,5	⌀ 5,5×27	27 *ом*—10 *Мом*	0,5	60	500
ВС-1	⌀ 7,6×30	27 *ом*—10 *Мом*	1	120	700
ВС-2	⌀ 10×48	27 *ом*—10 *Мом*	2	240	1 000
ВС-5	⌀ 25×75	47 *ом*—10 *Мом*	5	600	1 500
ВС-10	⌀ 30×120	47 *ом*—10 *Мом*	10	1 200	3 000
		Композиционные пленочные			
КИМ-0,05	⌀ 1,8×3,8	10 *ом*—5,6 *Мом*	0,05	20	100
КИМ-0,125	⌀ 2,5×8	27 *ом*—1 *Гом*	0,125	50	200

* Указаны максимальные размеры корпусов резисторов (без длины проволочных выводов).

** Промежуточные значения номинальных сопротивлений согласно табл. 1, при этом резисторы КИМ, МОН, С-2-6, С2-11 изготавливаются с сопротивлениями по ряду Е24 со всеми допускаемыми отклонениями.

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$**	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t макс}$, *мвт*	$U_{макс}$, *в*
		Металлопленочные			
МЛТ-0,125, МЛМ	⌀ 2×6	51 *ом*—2,2 *Мом*	0,125	30	200
МЛТ-0,25	⌀ 3×7	51 *ом*—3 *Мом*	0,25	60	250
МЛТ-0,5	⌀ 4,2×11	100 *ом*—5,1 *Мом*	0,5	120	350
МЛТ-1	⌀ 6,6×13	100 *ом*—10 *Мом*	1	250	500
МЛТ-2	⌀ 8,6×18	100 *ом*—10 *Мом*	2	500	750
МТ-0,125	⌀ 2×7	100 *ом*—1,1 *Мом*	0,125	35	200
МТ-0,25	⌀ 2,7×8	100 *ом*—2 *Мом*	0,25	70	200
МТ-0,5	⌀ 4,2×11	100 *ом*—5,1 *Мом*	0,5	150	350
МТ-1	⌀ 6,6×18	100 *ом*—10 *Мом*	1	300	500
МТ-2	⌀ 8,6×28	100 *ом*—10 *Мом*	2	600	700
МУН-0,5	⌀ 4,2×11	24—200 *ом*	0,5	120	10
МУН-1	⌀ 6,6×13	24—200 *ом*	1	250	14

Продолжение табл. 4

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$**	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t макс}$, *мвт*	$U_{макс}$, *в*
МУН-2	∅ 8,6×18	24—200 *ом*	2	500	20
С2-6-0,125	∅ 2×7	100 *ом*—1 *Мом*	0,125	30	200
С2-6-0,25	∅ 2,5×8	100 *ом*—2 *Мом*	0,25	60	200
С2-6-0,5	∅ 4×11	100 *ом*—5,1 *Мом*	0,5	120	350
С2-6-1	∅ 6,5×17	100 *ом*—10 *Мом*	1	250	500
С2-6-2	∅ 8,5×27	100 *ом*—10 *Мом*	2	500	700
С2-11-0,125	∅ 2×7	1—100 *ом*	0,125	30	—
С2-11-0,25	∅ 2,5×8	1—100 *ом*	0,25	60	—
		Металлоокисные			
МОН-0,5	∅ 4×10	1—100 *ом*	0,5	200□	7
МОН-1	∅ 6,5×13	1—100 *ом*	1	400□	10
МОН-2	∅ 8,5×18	1—100 *ом*	2	800□	15
С2-7Е-0,5	∅ 4×11	8,2—22 *ом*	0,5	120	3,5
С2-7Е-1	∅ 6,5×17	8,2—22 *ом*	1	250	5
С2-7Е-2	∅ 8,5×27	8,2—22 *ом*	2	500	7

□ При температуре 100° С.

латунные луженые или серебреные хомутики с хвостами-выводами из такого же материала. С их помощью резистор включают (подпаивают) в схему. Весь науглероженный стержень вместе с хомутиками или колпачками покрыт органической эмалью зеленого цвета, защищающей проводящий слой от действия влаги и механических повреждений.

Необходимо иметь в виду, что резисторы вида ВС-0,25 с сопротивлением свыше 1 *Мом* ненадежны в работе, так как слой углерода у них очень тонкий и поэтому легко разрушается, особенно в условиях повышенной влажности и температуры. Поэтому применение таких резисторов в аппаратуре, от которой требуется повышенная надежность, не рекомендуется. При необходимости применять резисторы типа ВС с номинальными сопротивлениями свыше 1 *Мом* в аппаратуре ответственного назначения следует использовать резисторы типа ВС с большими номинальными мощностями рассеяния.

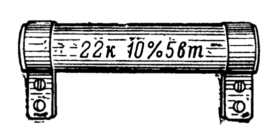


Рис. 6. Непроволочный постоянный резистор вида ВС-5.

Вследствие того, что толщина углерода резисторов типов ВС и УЛМ меньше глубины проникновения переменного тока в широком диапазоне частот, их активные сопротивления до частот порядка нескольких мегагерц практически не отличаются от сопротивлений, измеренных на постоянном токе или на переменном токе низкой частоты. На более высоких частотах наблюдается уменьшение активного сопротивления ввиду того, что на прохождение тока начинают заметно влиять емкости между краями витков спирали токопроводящего слоя: эти емкости как бы шунтируют витки и уменьшают эффективное значение сопротивления. Так, у нарезных резисторов видов ВС-0,25 и ВС-0,5, которые преимущественно применяются в высокочастотных цепях радиоприемников, активное сопротивление на частоте 10 *Мгц* снижается примерно на 10%, а на частоте 100 *Мгц* — приблизительно в 3 раза.

Резисторы видов ВС-5 и ВС-10 отличаются от резисторов типа ВС с меньшими номинальными мощностями рассеяния тем, что слой углерода нанесен не на сплошной стержень, а на керамическую трубку и выводные контакты представляют собой латунные хомутики (рис. 6).

При температуре, окружающей резисторы типа ВС, от 40° С и выше рассеиваемую на них мощность необходимо снижать по сравнению с номинальной из расчета 14% на каждые 10 *град* увеличения температуры.

Резисторы типов МЛТ (металлопленочные лакированные теплостойкие), МТ, С2-6 и С2-11. На поверхности керамических трубок этих резисторов нанесен обладающий высоким удельным сопротивлением слой металлического сплава толщиной порядка десятых долей микрона. Различные сопротивления получают, применяя сплав различного состава и изменяя числа витков нарезанных спиралей. На концы трубок с проводящим слоем напрессованы металлические колпачки с проволочными выводами (рис. 7). Трубки вместе с колпачками покрыты влагостойким лаком.

Важнейшими преимуществами металлопленочных резисторов по сравнению с углеродистыми резисторами типа ВС является то, что

при тех же номинальных мощностях рассеяния металлопленочные резисторы имеют меньшие размеры (см. табл. 4) и допускается длительная эксплуатация их при нагрузке полной номинальной мощностью при более высокой температуре окружающего воздуха (см. табл. 2). Кроме того, металлопленочные резисторы обладают несколько лучшей влагоустойчивостью по сравнению с резисторами типа ВС.

Однако вследствие того, что проводящий слой металлопленочных резисторов имеет бо́льшую толщину, чем у углеродистых резисторов типа ВС, уменьшение активного сопротивления металлопленочных резисторов становится заметным при более низких частотах; сопротивление наиболее распространенных резисторов вида МЛТ-0,5 уже на частоте 10 *Мгц* снижается примерно на одну треть, а на частотах 50—60 *Мгц* в 4—5 раз по сравнению с величинами, измеренными на постоянном токе или на низких частотах.



Рис. 7. Непроволочные постоянные резисторы типов МЛТ, МТ, МОН, С2-6, С2-7Е, С2-10, С2-11, С2-4. Такой же вид имеют и терморезисторы видов ММТ-1 и КМТ-1.

Резисторы типов МЛТ, МТ и С2-6, так же как и резисторы типа ВС, изготовляют с номинальными сопротивлениями по ряду Е24 (см. табл. 1) и допустимыми отклонениями ±5; ±10 и ±20%. Резисторы типа С2-11 изготовляют с номинальными сопротивлениями по тому же ряду, но только с допустимыми отклонениями ±5 и ±10%.

Стабильность сопротивления непроволочных резисторов ВСиМЛТ во времени. У большинства низкоомных резисторов типов ВС и МЛТ при длительном их хранении наблюдается некоторое увеличение сопротивления. Этот процесс «старения» завершается в основном в первые полгода — год после изготовления резисторов, в течение которых их сопротивление изменяется обычно не более чем на 1% от первоначальной величины, оставаясь при этом в пределах маркированного допускаемого отклонения.

У высокоомных резисторов в течение нескольких первых месяцев после их выпуска (иногда в течение года и больше) наблюдается уменьшение сопротивления, не превышающее, как правило, нескольких десятых долей процента. При этом у резисторов типа МЛТ это уменьшение меньше, чем у резисторов типа ВС, а у некоторых образцов резисторов типа МЛТ вовсе не наблюдается. По истечении указанного срока сопротивление может несколько увеличиться.

При работе непроволочных резисторов в схемах наблюдаются необратимые изменения их сопротивлений. Чем больше резистор нагружен и чем выше окружающая температура, тем сильнее сказывается это явление. При эксплуатации в цепях постоянного тока необратимые изменения нагруженных резисторов больше, чем в цепях переменного тока (при одинаковых рассеиваемых мощностях). Дело в том, что под действием постоянного напряжения возникают электролитические процессы в керамике, из которой изготовлен стержень или трубка резистора. Процессы эти нарушают структуру керамики в канавках между витками, что приводит в дальнейшем к разрушению краев витков токопроводящего слоя.

При повышении рабочей температуры электролитические процессы в керамике активизируются и разрушение токопроводящего слоя происходит быстрее.

В импульсных цепях резисторы типов ВС, МЛТ и МТ надежно работают только при условии, что средняя рассеиваемая ими мощность в 5—10 раз меньше P_t. Вместе с тем мощность в импульсе может значительно превышать ее, а амплитуда напряжения при этом может быть больше предельного постоянного и переменного напряжения $U_{макс}$. Так, для резисторов типов ВС, МЛТ и МТ допускается мощность в импульсе при большой скважности в 1 000 раз больше номинальной, а амплитуда импульсного напряжения в зависимости от номинальной мощности в 1,5—2 раза больше предельного постоянного или переменного напряжения.

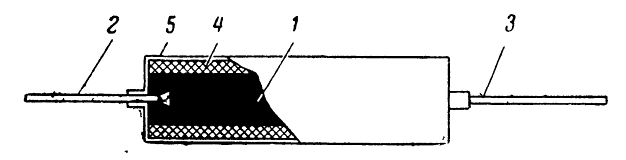


Рис. 8. Непроволочный постоянный резистор типа ТВО.

Резисторы типа МУН (металлопленочные ультравысокочастотные незащищенные) имеют подобную же конструкцию и размеры, как резисторы типа МЛТ тех же номинальных мощностей, но без спиральных нарезок и без защитного лакового покрытия. Как показывает само название резисторов МУН, они предназначаются для работы в цепях ультравысоких частот.

Изготовляют резисторы типа МУН с номинальными сопротивлениями не выше 200 *ом* по ряду Е24 с допусгимыми отклонениями ±5; ±10 и ±20%.

Резисторы типа МОН (металлоокисные низкоомные) и типа **С2-7Е** по своей конструкции подобны резисторам типа МЛТ, но проводящий слой образован окисью олова.

Изготовляют резисторы типа МОН с номинальными сопротивлениями по ряду Е24 с допустимым отклонением ±5 или ±10%, а резисторы типа С2-7Е по ряду Е24 с допустимым отклонением от номинала ±5% и по ряду Е12 с допустимым отклонением ±10%.

Резисторы типа КИМ (композиционные изолированные малогабаритные). Проводящим веществом в этих резисторах является композиция (сложный состав), основной частью которой является углерод. Эта композиция нанесена на поверхность стеклянного стержня. Стержень опрессован пластмассой. Внешне резистор типа КИМ представляет собой цилиндр, из торцов которого выходят проволочные выводы.

Резисторы вида КИМ-0,05 с номинальными сопротивлениями до 1 *Мом* и резисторы вида КИМ-0,125 до 100 *Мом* изготавливают по ряду Е24 с допускаемыми отклонениями от номинала ±5, ±10 и ±20%, а резисторы с большими сопротивлениями по тому же ряду с отклонениями ±10 и ±20%.

Резисторы могут нагружаться номинальной мощностью при температуре до 55° С.

Резисторы типа ТВО (тепловлагостойкие объемные) (рис. 8, табл. 5). Токопроводящий элемент резистора типа ТВО представля-

Таблица 5

Постоянные непроволочные объемные резисторы

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм*Δ	Пределы $R_{ном}$*	$P_{ном}$, *вт***	$P_{t\,макс}$, *мвт****	$U_{макс}$, *в*
ТВО-0,125	8×1,4×2,5	3 *ом*—100 *ком*	0,125	13	100
ТВО-0,25	13×2,2×3,7	3 *ом*—510 *ком*	0,25	25	300
ТВО-0,5	19×2,2×3,7	10 *ом*—1 *Мом*	0,5	50	400
ТВО-1	30×4×5	10 *ом*—1 *Мом*	1	100	500
ТВО-2	37×5×6	10 *ом*—1 *Мом*	2	200	750
ТВО-5	77×10×12	27 *ом*—1 *Мом*	5	500	1 500
ТВО-10	112×11×15	27 *ом*—1 *Мом*	10	1 000	3 000
ТВО-20	112×20×26	24 *ом*—100 *ком*	20	2 000	1 400
ТВО-60	180×50×44	24 *ом*—100 *ком*	60	6 000	2 450
С4-1-0,25	13,5×4×2	10 *ом*—510 *ком*	0,25	25	300
С4-1-0,5	19×4×2	10 *ом*—510 *ком*	0,5	50	400
С4-1-1	29×5×4	10 *ом*—1 *Мом*	1	100	500
С4-1-2	36×6×5	10 *ом*—1 *Мом*	2	200	750

Δ Указаны максимальные размеры корпусов резисторов (без длины выводов).
* Промежуточные номинальные сопротивления по ряду Е24 (см. табл. 1).
** При температуре окружающей среды 85° С для ТВО и 300° для С4-1.
*** При температуре окающей среды 155° С для ТВО и 350° С для С4-1.

ет собой обладающий высоким удельным сопротивлением стержень *1*, изготовленный из тонкоизмельченной смеси проводящего вещества — сажи, связующего вещества — стеклоэмали и наполнителя — корундового порошка. В торцы стержня впрессованы концы выводных проводников *2* и *3*. Токопроводящий стержень заключен в изоляционную оболочку *4* прямоугольного сечения из стеклокерамики. Весь резистор покрыт слоем влагоустойчивой эмали *5*.

Изготовляют резисторы типа ТВО с номинальными сопротивлениями по ряду E24 (см. табл. 1) с допускаемыми отклонениями ±5, ±10 и ±20%.

Резисторы типа ТВО допустимо нагружать номинальной мощностью при температуре окружающего их воздуха до 85° С.

Резисторы типа С4-1 имеют аналогичную конструкцию со стеклокерамической оболочкой. Их можно нагружать номинальной мощностью при температуре окружающей среды до 300° С. Изготавливают резисторы С4-1 с такими же номинальными сопротивлениями и допусками, как и резисторы типа ТВО.

Полупрецизионные резисторы типа УЛИ (углеродистые лакированные для измерительной аппаратуры) по конструкции подобны резисторам видов ВС-0,25—ВС-2 (см. рис. 5). Лучшая стабильность параметров резисторов типа УЛИ при работе и при хранении достигнута тем, что улучшены контакты между выводами и науглероженными стержнями путем покрытия концов последних слоем серебра, применено лучшее эмалевое покрытие, уменьшен перегрев путем увеличения поверхности охлаждения (резисторы типа УЛИ-0,125 имеют почти такие же размеры, как резисторы типа ВС-0,25, резисторы типа УЛИ-0,25 — как ВС-0,5, а УЛИ-1 — как ВС-2), а перед выпуском с завода-изготовителя их подвергают длительной тренировке воздействием повышенной температуры и электрической нагрузки.

Наименьшие и наибольшие номинальные сопротивления резисторов типа УЛИ с различными номинальными мощностями рассеяния указаны в табл. 6. Промежуточные значения номинальных сопротивлений этих резисторов в омах, десятках и сотнях ом, в килоомах, в десятках и сотнях килоом нижеследующие:

1	1,47	2,15	3,16	4,64	6,81
1,02	1,5	2,21	3,24	4,75	6,98
1,05	1,54	2,26	3,32	4,87	7,15
1,07	1,58	2,32	3,4	4,59	7,32
1,1	1,62	2,37	3,48	5,11	7,5
1,13	1,65	2,43	3,57	5,23	7,68
1,15	1,69	2,49	3,65	5,36	7,87
1,18	1,74	2,55	3,74	5,49	8,06
1,21	1,78	2,61	3,83	5,62	8,25
1,24	1,82	2,67	3,92	5,76	8,45
1,27	1,87	2,74	4,02	5,9	8,66
1,3	1,91	2,8	4,12	6,04	8,87
1,33	1,96	2,87	4,22	6,19	9,09
1,37	2	2,94	4,32	6,34	9,31
1,4	2,05	3,01	4,42	6,49	9,53
1,43	2,1	3,09	4,53	6,65	9,76

Таблица 6

Непроволочные резисторы повышенной точности

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт***	$U_{макс}$, *в*
		Углеродистые и бороуглеродистые		
УЛИ-0,125	⌀5,4×16	1 *ом*—459 *ком*	0,125	1
УЛИ-0,25	⌀7,2⌀16 ⌀5,4×26	1—9,76 *ом* 10 *ом*—1 *Мом*	0,25 0,25	1,5 500
УЛИ-0,5	⌀10×17 ⌀7,2×30	0,75—9,76 *ом* 10 *ом*—1 *Мом*	0,5 0,5	2,2 750
УЛИ-1	⌀12×26 ⌀10×47	1—9,76 *ом* 10 *ом*—1 *Мом*	1,0 1,0	3,0 1 000
БЛП-0,1 БЛПа-0,1	⌀6×16 ⌀5×16	1 *ом*—100 *ком*	0,1	100
БЛП-0,25 БЛПа-0,25	⌀7,5×15 ⌀7,5×15	1—20 *ом*	0,25	2,2
БЛП-0,25 БЛПа-0,25	⌀6×26 ⌀5×26	20,3 *ом*—100 *ком*	0,25	150
БЛП-0,5 БЛПа-0,5	⌀10×17 ⌀9×17	1—20 *ом*	0,5	3,0

Продолжение табл. 6

Тип резистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт***	$U_{макс}$, *в*
БЛП-0,5 БЛПа-0,5	⌀7,5×30 ⌀7×30	20,3 *ом*—100 *ком*	0,5	220
БЛП-1 БЛПа-1	⌀12×25 ⌀11×25	1—20 *ом*	1	4,5
БЛП-1 БЛПа-1	⌀10×47 ⌀9×47	20,3 *ом*—100 *ком*	1	300
		Металлопленочные		
МГП-0,5	⌀14×30	100 *ком*—5,1 *Мом*	0,5	400
С2-10-0,125	⌀2×7	10 *ом*—1 *ком*	0,125	200
С2-10-0,25	⌀2,7×8	1 *ом*—3 *ком*	0,25	200
С2-10-0,5	⌀3,8×10	1 *ом*—3 *ком*	0,5	300
С2-10-1	⌀6×13	1 *ом*—3 *ком*	1	320
С2-10-2	⌀8×18	1 *ом*—3 *ком*	2	350
С2-14-0,25	⌀6,5×13	1 *ом*—1 *Мом*	0,25	350
С2-14-0,5	⌀8,5×19	1 *ом*—1 *Мом*	0,5	500
С2-14-1	⌀8,5×28	1 *ом*—1 *Мом*	1	700
С2-15-0,25	⌀9×16	1 *ом*—1 *Мом*	0,25	—
С2-15-0,5	⌀11×22	1 *ом*—1 *Мом*	0,5	—
С2-15-1	⌀11×30	1 *ом*—1 *Мом*	1	—

* Указаны максимальные размеры корпусов резисторов (без длины выводов)

** Для резисторов типа УЛИ при температуре окружающей среды до 60° С, для БЛП, С2-10, С2-14 и С2-15 до 70° С и для МГП до 55° С.

Выпускаются резисторы типа УЛИ с допускаемыми отклонениями от номинальных сопротивлений ±1, ±2 и ±3%.

При температуре окружающей среды до 60° С резисторы можно нагружать номинальной мощностью, но при этом, как и для резисторов всех других типов, напряжение на резисторе не должно превышать $U_{макс}$.

Для длительной работы в атмосфере с высокой влажностью резисторы типа УЛИ непригодны.

Резисторы типа БЛП (бороуглеродистые лакированные прецизионные), также предназначаемые для использования в измерительной аппаратуре, обладают лучшей стабильностью параметров по сравнению с резисторами типа УЛИ. Это достигнуто тем, что пленка углерода содержит примесь бора в количестве 2—5%. Конструкция резисторов типа БЛП такая же, как резисторов типов ВС и УЛИ. Выпускают резисторы типа БЛП практически с любым значением номинального сопротивления от 1 *ом* до 100 *ком* при допускаемом отклонении ±0,5 или ±1%; разница между двумя соседними номиналами сопротивления не превышает 1—1,5%.

Резисторы вида БЛПа имеют такие же выводы, как и резисторы типа МЛТ. По своим электрическим параметрам резисторы типа БЛПа полностью соответствуют резисторам типа БЛП.

Резисторы типа МГП-0,5 (металлопленочные герметизированные прецизионные). Повышенная стабильность параметров этих резисторов достигнута тем, что их проводящие элементы имеют размеры резистора типа МЛТ-2, а допускаемая мощность рассеяния не превышает 0,5 *вт*; кроме того, проводящие элементы опрессованы влагостойкой пластмассой.

Выпускаются с номинальными сопротивлениями по ряду Е24 с допускаемым отклонением ±0,5 и ±1%.

Прецизионные металлопленочные резисторы типов С2-10 и С2-14 по своей конструкции подобны резисторам типа МЛТ, причем резисторы С2-10 изготавливаются в двух вариантах: покрытыми эпоксидно-креозольным лаком с допускаемым отклонением от номинальных сопротивлений ±5% и без покрытия с допускаемым отклонением ±1%. Резисторы С2-14 имеют лаковое покрытие и выпускаются с различными допустимыми отклонениями от номинальных сопротивлений: ±0,5; ±1; ±2 и ±5%. Резисторы всех этих типов изготовляют практически с любым номинальным сопротивлением, находящимся в пределах, указанных в табл. 6 (разница между двумя соседними номинальными сопротивлениями не превышает 1—1,5%).

Прецизионные резисторы типа С2-15. Металлопленочный токопроводящий элемент такого резистора опрессован пластмассой. Его проволочные выводы выходят из торцов пластмассового цилиндра.

Шкала номинальных сопротивлений этих резисторов такая же, как у резисторов С2-14, а допустимые отклонения ±0,5; ±1 и ±2%.

Обозначение постоянных непроволочных резисторов в технической документации. В спецификациях к схемам радиоаппаратуры промышленного производства и в другой технической документации данные постоянных резисторов указываются сокращенными записями в следующем порядке:

1. Наименование типа резистора.

2. Номинальная мощность рассеяния в ваттах (как исключение номинальное напряжение в киловольтах для высоковольтных резисторов).

3. Литер конструктивного варианта резистора, если резистор данного типа и данной номинальной мощности рассеяния выпускается в различных конструктивных исполнениях.

4. Номинальное сопротивление, *ом*, *ком*, *Мом*.

5. Допускаемое отклонение сопротивления от номинального значения, %.

6. Группа по величине шумов или класс ТКС для непроволочных резисторов повышенной точности (группу Б и класс А не указывают).

Так, например, постоянный непроволочный резистор типа МЛТ с номинальной мощностью рассеяния 0,5 *вт*, с номинальным сопротивлением 39 *ком* и с допустимым отклонением ±10%, имеющий шумы меньше 1 *мкв/в*, в технической документации записывается так: *МЛТ-0,5—39 ком 10%—А*.

Если все резисторы какого-либо типа выпускаются только с одной номинальной мощностью рассеяния либо только по одному классу точности, соответствующих цифровых или буквенных индексов в обозначении может не быть.

Выбор резисторов для аппаратуры. Применимость резисторов с различными отклонениями от номинального значения сопротивления определяется местом их в схемах. Если даже относительно большое изменение сопротивления мало влияет на режим работы схемы, то можно использовать резистор с отклонением от номинала ±20%. Наиболее распространены в радиоаппаратуре непроволочные постоянные резисторы с отклонением от номинала ±10%. Резисторы с меньшими отклонениями используют в цепях, от которых зависят временные параметры схемы, а также в цепях, которые должны устанавливать и поддерживать с повышенной точностью режимы работы ламп. Так, например, в цепи управляющей сетки лампы каскада усиления высокой или промежуточной частоты, однотактного каскада усиления низкой частоты, сеточного детектора и электронно-светового индикатора настройки, а также в цепи сигнальной сетки преобразователя частоты супергетеродина, в цепи АРУ, в схеме диодного АМ детектора, в развязывающем фильтре цепи управляющей сетки электронной лампы и в цепи коллектора транзистора можно применить непроволочный резистор с любым отклонением от указанной в схеме или полученной расчетом номинальной величины сопротивления и даже с соседним номинальным сопротивлением по ряду Е6 (табл. 1).

Во избежание вредного влияния на работу схемы обратного тока управляющей сетки электронной лампы сопротивление резистора в цепи этой сетки не должно превышать следующей величины:

470 *ком* для ламп 2П1П, 6Ж3П, 6К4П, 6Н2П, 6Н9С, 6П1П, 6П3С, 6П20С и 6П36С;

1 *Мом* для ламп 1Б1П, 1К1П, 6Ж1П, 6Ж5П, 6Ж9П, 6К13П, 6Н3П, 6Н5С, 6Н13С, 6Н14П, 6П7С, 6П14П, 6П15П, 6П18П, 6Ф4П, а также для пентодных частей ламп 6Ф1П, 6Ф3П и 6Ф5П;

2,7 *Мом* для ламп 1Б2П, 1К2П, 6Е1П и 6Ж32П.

Резистор в цепи эмиттера и делителя напряжения цепи базы транзистора, в анодной цепи лампы, в цепи управляющих сеток ламп двухтактного каскада УНЧ, в цепи гетеродинной сетки лампы преобразователя частоты, в детекторе ЧМ сигналов, резистор сглаживающего или развязывающего фильтра анодной цепи, резистор автоматического смещения на управляющую сетку подогревной

лампы (в цепи ее катода), а также резистор, понижающий напряжение на экранирующей сетке лампы каскада УВЧ, УПЧ, УНЧ и преобразователя частоты гетеродина, следует выбирать с допускаемым отклонением ±10%. Если применить резистор с допускаемым отклонением ±20%, возможно, придется для установления нормального режима каскада подбирать резистор.

В цепях частотной коррекции, отрицательной обратной связи и регулировки тембра усилителей НЧ, в делителях напряжения также нужно применять резисторы с допускаемым отклонением ±10%, но и при таком допуске их часто приходится подбирать при регулировке изготовленной аппаратуры.

В качестве высокоомных добавочных сопротивлений вольтметров (миллиампервольтомметров) рекомендуется применять резисторы типов УЛИ, БЛП, МГП, С2-10, С2-14, С2-15. Если резисторы этих типов приобрести затруднительно, приходится применять резисторы типа ВС с маркированным допускаемым отклонением ±5%, подбирая резисторы с возможно меньшим фактическим отклонением от номинального сопротивления. На каждом таком резисторе в этих случаях должна рассеиваться мощность в 3—5 раз меньше номинальной.

ПРОВОЛОЧНЫЕ ЭМАЛИРОВАННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

В цепях питания радиоаппаратуры применяют резисторы типов ПЭ (проволочные эмалированные), ПЭВ (проволочные эмалированные влагостойкие) и ПЭВТ (проволочные эмалированные влагостойкие и теплостойкие).

Проволочный эмалированный резистор представляет собой керамическую трубку, на которую намотана неизолированная проволока с высоким удельным сопротивлением (константановая или нихромовая). Обмотка покрыта теплостойкой неорганической стеклоэмалью, которая изолирует друг от друга витки обмотки и защищает ее от влаги, загрязнений и механических повреждений.

Выводы концов обмотки резисторов типа ПЭ — гибкие жгуты, свитые из тонких медных проволок (рис. 9), концы которых подпаиваются в схему. Выводы обмоток резисторов типа ПЭВ — латунные пластинки с отверстиями для подпайки внешних проводников схемы; выводы обмоток резисторов типа ПЭВТ подобной же конструкции, но из нержавеющей стали.

Разновидностью резисторов типа ПЭВ являются резисторы типа ПЭВР. Последние отличаются наличием хомутика, охватывающего тело резистора и могущего передвигаться вдоль него. Для осуществления контакта хомутика с витками резистора вдоль его корпуса имеется очищенная от стеклоэмали дорожка. Следовательно, сопротивление резистора типа ПЭВР можно изменять.

Все эти резисторы (табл. 7) выпускают с отклонением от номинала ±10 или ±5%.

Если температура окружающей среды превышает 40° С, то мощность рассеяния резисторов типов ПЭ, ПЭВ и ПЭВР необходимо снижать по сравнению с номинальной на 3,5—4% на каждые 10 *град* увеличения температуры сверх 40° С. Резисторы типа ПЭВТ можно нагружать при температуре 40° С двойной номинальной мощностью, а номинальную мощность они могут рассеивать при температуре до 300° С. Основным преимуществом резисторов типов ПЭВ, ПЭВР и ПЭВТ является их длительная работоспособ-

Таблица 7

Постоянные и регулируемые проволочные эмалированные резисторы

Тип резистора	$P_{ном}$, *вт***	Пределы $R_{ном}$***	Габаритные размеры, *мм**
Постоянные резисторы с гибкими выводами			
ПЭ-7,5	7,5	3,0 *ом*—5,1 *ком*	∅ 14×42
ПЭ-15	15	3,0 *ом*—5,1 *ком*	∅ 16×52
ПЭ-20	20	2,4 *ом*—5,1 *ком*	∅ 20×52
ПЭ-25	25	4,7 *ом*—5,6 *ком*	∅ 25×52
ПЭ-50	50	1,0 *ом*—16 *ком*	∅ 25×93
ПЭ-75	75	1,0 *ом*—30 *ком*	∅ 25×164
ПЭ-150	150	1,0 *ом*—51 *ком*	∅ 33×219
Постоянные резисторы с жесткими выводами			
ПЭВ-3	3	3,0 *ом*—510 *ом*	∅ 16×27
ПЭВ-7,5	7,5	1,0 *ом*—3,3 *ком*	∅ 16×37
ПЭВ-10	10	1,8 *ом*—10 *ком*	∅ 16×43
ПЭВ-15	15	3,9 *ом*—15 *ком*	∅ 19×47
ПЭВ-20	20	4,7 *ом*—20 *ком*	∅ 19×52
ПЭВ-25	25	10 *ом*—24 *ком*	∅ 23×52
ПЭВ-30	30	10 *ом*—30 *ком*	∅ 23×73
ПЭВ-40	40	18 *ом*—51 *ком*	∅ 23×89
ПЭВ-50	50	18 *ом*—51 *ком*	∅ 32×93
ПЭВ-75	75	47 *ом*—56 *ком*	∅ 32×143
ПЭВ-100	100	47 *ом*—56 *ком*	∅ 34×174
ПЭВТ-3	3	43 *ом*—1,3 *ком*	∅ 16× 27
ПЭВТ-10	10	10 *ом*—3 *ком*	∅ 16× 43
ПЭВТ-25	25	15 *ом*—7,5 *ком*	∅ 23× 52
ПЭВТ-50	50	20 *ом*—20 *ком*	∅ 32× 93
ПЭВТ-75	75	20 *ом*—27 *ком*	∅ 32×144
ПЭВТ-100	100	20 *ом*—43 *ком*	∅ 32×175
Регулируемые резисторы с жесткими выводами			
ПЭВР-10	10	3—220 *ом*	∅ 16×43
ПЭВР-15	15	5,1—220 *ом*	∅ 19×47
ПЭВР-20	20	10—430 *ом*	∅ 19×52
ПЭВР-25	25	10—510 *ом*	∅ 23×52
ПЭВР-30	30	15 *ом*—1 *ком*	∅ 23×73
ПЭВР-50	50	22 *ом*—1,5 *ком*	∅ 32×93
ПЭВР-100	100	47 *ом*—2,7 *ком*	∅ 32×174

* Указаны максимальный внешний диаметр и максимальная длина корпуса резистора.

** Для резисторов типов ПЭ, ПЭВ и ПЭВР при температуре окружающего воздуха 40° С и для резисторов типа ПЭВТ при 300° С.

*** Промежуточные номинальные сопротивления и допускаемые отклонения по рядам Е6 и Е12 (см. табл. 1).

ность в атмосфере с высокой влажностью. Резисторы типа ПЭ во влажной атмосфере работают ненадежно.

Наиболее часто встречающийся в эксплуатации дефект резисторов типов ПЭ, ПЭВ и ПЭВР — нарушение контакта в месте сварки обмоточного провода с выводом.

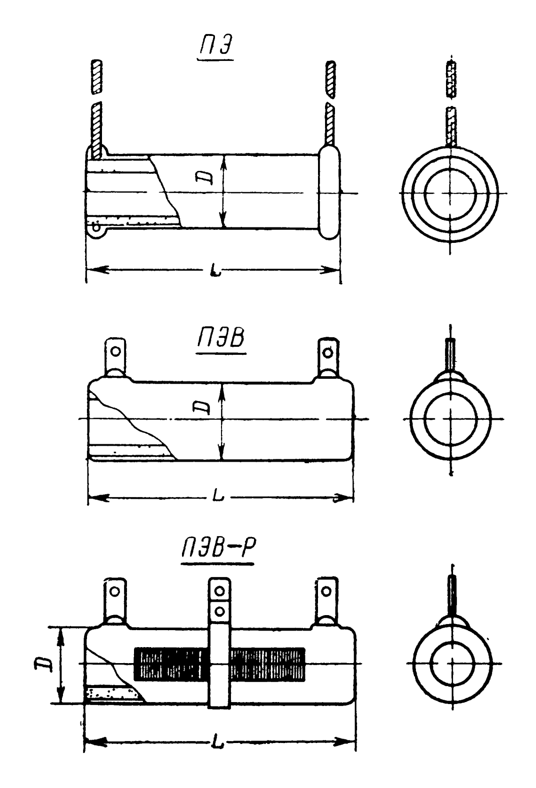


Рис. 9. Проволочные эмалированные резисторы.

Система обозначения проволочных резисторов в технической документации такая же, как и непроволочных (см. стр. 33).

НЕПРОВОЛОЧНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ И ПОДСТРОЕЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Предприятия отечественной электронной промышленности выпускают много типов переменных и подстроечных непроволочных резисторов для использования в радиоаппаратуре в качестве регуляторов усиления (громкости), тембра, напряжений питания и для других целей. В табл. 8 и 9 приведены основные технические характеристики и параметры этих резисторов, а на рис. 10 и 11

Таблица 8

Переменные и подстроечные непроволочные резисторы

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габаритные размеры, *мм**	Основное значение
	Композиционные резисторы		
СП-I	Переменный, экранированный	∅ 29×15	Для объемного монтажа
СП-II	Подстроечный, экранированный, со стопором оси	∅ 29×15	То же
СП-III	Переменный сдвоенный, экранированный	∅ 29×32	» »
СП-IV	Подстроечный сдвоенный, экранированный со стопором оси	∅ 29×32	» »
СП-V	Переменный, экранированный	∅ 29×15	» »
ВК-а; ВК-б	То же	∅ 34×17	Для объемного монтажа, преимущественно в радиовещательных приемниках стационарного типа
ВКУ-1а; ВКУ-1б	То же, с отводом от проводящего элемента для подключения цепочки тонкокомпенсирования при регулировании громкости	∅ 34×17	
ВКУ-2а; ВКУ-2б	То же, с двумя отводами указанного назначения	∅ 34×17	То же
ТК; ТКД-а; ТКД-б	Переменный, экранированный, с выключателем на ток до 2 *а* при напряжении 127 *в* и 1 *а* при 220 *в*	∅ 34×27	» »
СНК-а; СНК-б	Переменный сдвоенный, экранированный; управление каждым резистором независимое	∅ 34×35	» »
СНВКД-а; СНВКД-б	Переменный сдвоенный, экранированный, с выключателем; управление каждым резистором независимое	∅ 34×45	» »
СП-0,4	Переменный или подстроечный, экранированный	∅16×12,5	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СП3-1а	Подстроечный, неэкранированный	∅ 24×18×8	Для печатного монтажа; установка параллельно плате

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габаритные размеры, *мм**	Основное назначение
СПЗ-1б	То же	⌀ 16×16×8	Для печатного монтажа; установка перпендикулярно плате
СПЗ-2а	Переменный или подстроечный, экранированный	⌀ 29×13	Для объемного монтажа
СПЗ-2б	Подстроечный, экранированный	⌀ 29×13	Для печатного монтажа; установка перпендикулярно плате
СПЗ-3а	Переменный, неэкранированный, цилиндрический с выключателем на ток 0,15 *а* при напряжении до 50 *в*	⌀ 14**×10	Для объемного монтажа, преимущественно в портативных транзисторных приемниках и слуховых аппаратах
СПЗ-3б	То же, дисковый	⌀ 22**×10	То же
СПЗ-3в	То же	⌀ 22**×10	Для печатного монтажа, преимущественно в портативных транзисторных приемниках и слуховых аппаратах
СПЗ-4а	Переменный, экранированный	⌀ 16×8	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СПЗ-4б	То же	⌀ 16×8	Для печатного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СПЗ-4в	Переменный, экранированный, с выключателем	⌀ 16×12	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СПЗ-4г	То же	⌀ 16×12	Для печатного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СПЗ-4д	Переменный сдвоенный, экранированный	⌀ 16×18	Для объемного монтажа в малогабаритной аппаратуре
СПЗ-6 СПЗ-6а	Переменный или подстроечный, экранированный	⌀ 12×16	Для аппаратуры на микромодулях или с печатным монтажом
СПЗ-7	Переменный сдвоенный, экранированный	⌀ 26×33	Для синхронного одновременного регулирования усиления или тембра в двух каналах стереофонических систем

Продолжение табл. 8

Тип резистора	Краткая техническая характеристика	Габаритные размеры, *мм**	Основное назначение
СП3-7а	Переменный, сдвоенный, экранированный	∅ 26×33	Для взаимной балансировки каналов стереофонических систем
СП3-8	Переменный, сдвоенный, экранированный, с выключателем на ток до 4 *а*; управление каждым резистором независимое	∅ 34×39	Для регулирования громкости и тембра в автомобильных радиоприемниках
СП3-9а	Подстроечный, экранированный	∅ 16×15	Для объемного монтажа
СП3-9б	То же, со стопором	∅ 16×15	То же
СП3-10а	Переменный, сдвоенный, экранированный; управление каждым резистором независимое	∅ 29×32	» »
СП3-10б	Переменный, экранированный, с выключателем	∅ 29×24	» »
СП3-10в	Переменный, сдвоенный, экранированный, с выключателем; управление каждым резистором независимое	∅ 29×40	» »
СП3-12	Переменный, экранированный	∅ 26×16	Для объемного монтажа в радиолах и радиовещательных приемниках высшего, I и II классов
	Объемные резисторы		
СПО-0,15	Переменный, или подстроечный, экранированный	∅ 10×9	Для объемного монтажа в аппаратуре, работающей в условиях повышенной температуры
СПО-0,5	То же	∅ 16×13	
СПО-1	» »	∅ 21×16	То же
СПО-2	» »	∅ 28×19	» »

* Указаны размеры корпусов резисторов без осей, втулок крепления и контактных выводов.
** Диаметр лимба управления с накаткой.

Таблица 9

Параметры переменных и подстроечных непроволочных резисторов*

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\ макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СП-I; СП-II; СП-V	*А*	470 *ом*—4,7 *Мом*	0,5	0,25	400
СП-III; СП-IV	*Б*; *В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,125	350
	А *А*	**470 *ом*—4,7 *Мом*** 470 *ом*—4,7 *Мом*	**0,5** 0,25	**0,25** 0,125	**400** 400
	Б*; *В *Б*; *В*	**4,7 *ком*—2,2 *Мом*** 4,7 *ком*—2,2 *Мом*	**0,25** 0,125	**0,125** 0,06	**350** 350
	Б*; *В *А*	**4,7 *ком*—2,2 *Мом*** 470 *ом*—4,7 *Мом*	**0,25** 0,25	**0,125** 0,125	**350** 400
	А *Б*: *В*	**470 *ом*—4,7 *Мом*** 4,7 *ком*—2,2 *Мом*	**0,5** 0,125	**0,25** 0,06	**400** 350
ВК-а; ВК-б	*А* *Б*: *В*	22 *ком*—6,8 *Мом* 15 *ком*—2,2 *Мом*	0,5 0,25	0,16 0,08	350 200

* Для сдвоенных резисторов параметры резисторов, расположенных ближе к крепежной втулке и оси, выделены более жирным шрифтом, в следующей строке указаны параметры резисторов, находящихся в экране с маркировкой.

Продолжение табл. 9

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\ макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
ВКУ-1а; ВКУ-1б[Δ]	*В*	22 *ком*; 1 *Мом*	0,25	0,08	200
ВКУ-2а; ВКУ-2б**	*В*	470 *ком*	0,25	0,08	200
ТК; ТКД-а; ТКД-б	*А*	2,2 *ком*—6,8 *Мом*	0,5	0,16	350
	Б; *В*	15 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,08	200
СНК-а; СНК-б	***А***	**1 *Мом***	**0,5**	**0,16**	**350**
	А	100 *ком*—1 *Мом*	0,5	0,16	350
	В	**22 *ком*—1 *Мом***	**0,25**	**0,08**	**200**
	А	100 *ком*—1 *Мом*	0,25	0,08	350
СНВКД-а; СНВКД-б	***А***	**1 *Мом***	**0,5**	**0,16**	**350**
	А	100 *ком*—1 *Мом*	0,25	0,08	350
	В	**22 *ком*—1 *Мом***	**0,25**	**0,08**	**200**
	А	100 *ком*—1 *Мом*	0,25	0,08	350

** Резисторы типов ВКУ-2а, ВКУ-2б и типа СП3-7 с кривой вида *В* и номинальными сопротивлениями>470 *ком* имеют отводы для подключения цепочки тонкомпенсирования; сопротивление до первого отвода составляет 2—8, а до второго отвода — 20—40% полного сопротивления резистора.

[Δ] Резисторы типов ВКУ-1а, ВКУ-1б и СП3-8 с кривой вида *В* имеет по одному отводу для подключения цепочек тонкомпенсации; сопротивление до отвода составляет 20—40% полного сопротивления резистора.

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\,макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СП-0,4	*А*	470 *ом*—4,7 *Мом*	0,4	0,25	250
СПЗ-1а	*А*	470 *ом*—1 *Мом*	0,25	0,08	250
СПЗ-1б	*А*	470 *ом*—1 *Мом*	0,25	0,08	250
СПЗ-2а	*А*	470 *ом*—4,7 *Мом*	0,5	0,16	300
СПЗ-2б	*Б: В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,08	200
	А	470 *ом*—4,7 *Мом*	0,5	0,16	300
СПЗ-3а	*Б: В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,08	200
	А	1 *ком*—1 *Мом*	0,05	0,035	50
СПЗ-3б	*В*	4,7 *ком*—1 *Мом*	0,025	0,017	30
	А	1 *ком*—1 *Мом*	0,05	0,035	50
СПЗ-3в	*В*	4,7 *ком*—1 *Мом*	0,025	0,017	30
	А	1 *ком*—1 *Мом*	0,05	0,035	50
СПЗ-4а	*В*	4,7 *ком*—1 *Мом*	0,025	0,017	30
	А	220 *ом*—470 *ком*	0,25	0,06	150
СПЗ-4б	*Б; В*	4,7—470 *ком*	0,125	0,03	100
	А	220 *ом*—470 *ком*	0,25	0,06	150
	Б; В	4,7—470 *ком*	0,125	0,03	100

Продолжение табл. 9

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\,макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СП3-4в	*А*	220 *ом*—470 *ком*	0,125	0,03	150
	Б; *В*	4,7—470 *ком*	0,05	0,012	100
СП3-4г	*А*	220 *ом*—470 *ком*	0,125	0,03	150
	Б; *В*	4,7—470 *ком*	0,05	0,012	100
СП3-4д	***А*** *А*	**220 *ом*—470 *ком*** 220 *ом*—470 *ком*	**0,25** 0,125	**0,06** 0,03	**150** 150
	Б*; *В *Б*; *В*	**4,7—470 *ком*** 4,7—470 *ком*	**0,125** 0,05	**0,03** 0,012	**100** 100
	Б*; *В *А*	**4,7—470 *ком*** 220 *ом*—470 *ком*	**0,125** 0,125	**0,03** 0,03	**100** 150
	А	**220 *ом*—470 *ком***	**0,25**	**0,06**	**150**
	Б; *В*	4,7—470 *ком*	0,05	0,012	100
СП3-5	*А*	1 *ком*—1 *Мом*	0,5	0,2	250
СП3-6	*А*	1 *ком*—1 *Мом*	0,125	0,06	100
СП3-7**	*А* *В*	5 *ком*: 1 и 2,5 *Мом* 5, 10, 100 и 470 *ком*; 1 и 2,2 *Мом***	0,125 0,125	0,06 0,06	200 200

Продолжение табл. 9

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\ макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СП3-8$^{\Delta}$	***В***	**10 *ком*, 470 *ком* и 470 *ком***	**0,25**	**0,125**	**200**
	А	22 *ком*, 22 *ком* и 2,2 *Мом*	0,5	0,25	350
СП3-9	*А*	1 *ком*—4,7 *Мом*	0,5	0,1	100
СП3-10-а	***А***	**470 *ом*—4,7 *Мом***	**2**	**1**	**500**
	А	470 *ом*—4,7 *Мом*	1	0,5	500
	Б*; *В	**4,7 *ком*—2,2 *Мом***	**1**	**0,5**	**400**
	Б; *В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,5	0,25	400
	Б*; *В	**4,7 *ком*—2,2 *Мом***	**1**	0,5	**400**
	А	470 *ом*—4,7 *Мом*	1	0,5	500
СП3-10а	***А***	**470 *ом*—4,7 *Мом***	2	**1**	**500**
	Б; *В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,5	0,25	400
СП3-10б	*А*	470 *ом*—2,2 *Мом*	1	0,5	500
	Б; *В*	4,7 *ком*—1 *Мом*	0,5	0,25	400
СП3-10в	***А***	**470 *ом*—2,2 *Мом***	2	**1**	**500**
	А	470 *ом*—4,7 *Мом*	0,5	0,25	500
	Б*; *В	**4,7 *ком*—1 *Мом***	**1**	0,5	**400**
	Б; *В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,125	400

Продолжение табл. 9

Тип резистора	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\ макс}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СПЗ-10в	*Б*; *В*	4,7 *ком*—1 *Мом*	1	0,5	400
	А	470 *ом*—4,7 *ком*	0,5	0,25	500
	А	470 *ом*—2,2 *Мом*	2	1	500
	Б; *В*	4,7 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,125	400
СПЗ-12	*А*	22 *ком*—2,2 *Мом*	0,25	0,125	350
	В	4,7—68 *ком*○	0,125	0,062	200
	В	100 *ком*—2,2*Мом*□	0,125	0,062	200
СПО-0,15	*А*	100 *ом*—1 *Мом*	0,15	0,06	100
СПО-0,5	*А*	100 *ом*—4,7 *Мом*	0,5	0,2	250
СПО-1	*А*	47 *ом*—4,7 *Мом*	1	0,4	350
СПО-2	*А*	47 *ом*—4,7 *Мом*	2	0,8	600

○ Резисторы имеют по одному отводу для подключения цепочек тонкомпенсации; сопротивление до отвода составляет 15—30% полного сопротивления резистора.

□ Резисторы имеют по два отвода для подключения цепочек тонкомпенсации; сопротивление до первого отвода составляет 2—8%, до второго отвода—15—30% полного сопротивления резистора.

показаны наиболее распространенные переменные и подстроечные непроволочные резисторы.

Пределы регулирования. Кроме указанных в табл. 9 номинальных сопротивлений, важным параметром всякого переменного и подстроечного резистора являются нижние пределы сопротивления. При этом различают:

1. Минимальное сопротивление $R_{мин}$ — остаточное сопротивление между средним и крайним выводами резистора при повороте его оси (ручки управления) до упора в сторону этого крайнего вывода; для резистора с выключателем — до положения «выключено» последнего.

2. «Начальный скачок» сопротивления $R_{ск}$ — величина, начиная с которой при вращении оси резистора от упора (при наличии выключателя — от положения срабатывания последнего) сопротивление резистора изменяется плавно (монотонно).

Значение минимального сопротивления принято выражать в омах, а начальный скачок в долях (или процентах) от полного сопротивления резистора $R_п$.

Для переменных и подстроечных резисторов широкого применения (СП-I—СП-V, СП3-2—СП3-4 и др.) типичны следующие значения минимального сопротивления:

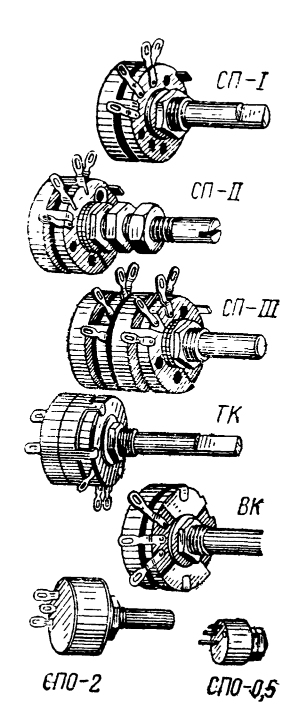


Рис. 10. Непроволочные переменные и подстроечные резисторы.

$R_{ном}$, *ком*	$R_{мин}$ не более, *ом*
≤2,2	5—10
3,3—10	25—70
15—22	50—100
≥33	50—200

Резисторы с номинальным сопротивлением до 220 *ком* с логарифмической или обратно логарифмической кривой (*Б* и *В* на рис. 2) обычно обладают минимальным сопротивлением не более 50 *ом*.

Начальный скачок сопротивления большинства типов резисторов широкого применения не превышает следующих величин:

Переменные резисторы с кривой типа *А*	0,07 $R_п$
То же, с выключателем	0,1 $R_п$
Переменные резисторы с кривой типа *Б* или *В*	0,015 $R_п$
То же, с выключателем	0,03 $R_п$
Подстроечные резисторы	0,15 $R_п$

При использовании переменных непроволочных резисторов в качестве потенциометров регулирования усиления (громкости) радиоприемников и усилителей обеспечиваемый ими диапазон регулирования удобно выражать в децибелах. Поскольку можно считать, что при неизменном уровне входного сигнала громкость зву-

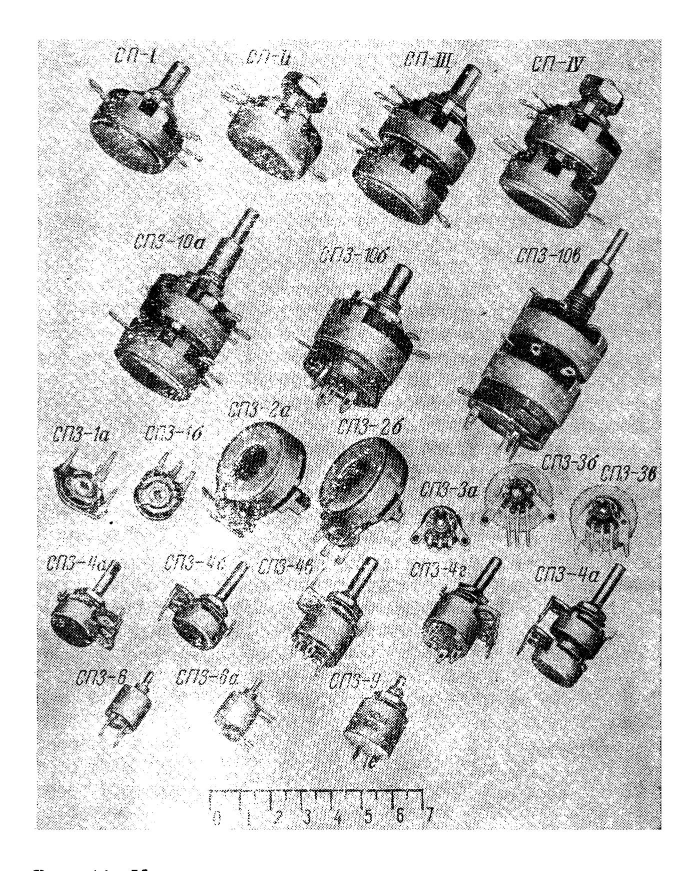


Рис. 11. Непроволочные переменные и подстроечные резисторы.

ковоспроизведения увеличивается пропорционально увеличению напряжения, снимаемого с потенциометра, а это напряжение пропорционально введенному сопротивлению, то диапазон регулирования

$$S = 20 \lg \frac{R_{п}}{R_{ск}} \, [дб], \qquad (4)$$

где $R_{п}$ — сопротивление между крайними выводами резистора (номинальное сопротивление с учетом отклонения от его значения);

$R_{ск}$ — сопротивление, начиная с которого оно плавно увеличивается.

По этой формуле легко найти, что, используя в радиовещательных приемниках, радиолах в качестве регуляторов громкости переменные резисторы наиболее распространенных типов СП-I, СП-V, СП3-3, СП3-7 и СП3-8 с кривой вида *В*, получим диапазон регулирования громкости 37—45 *дб*. Такой диапазон регулирования достаточен только для радиовещательных приемников, радиол и бытовых магнитофонов III и IV классов (норма по ГОСТ 5651-64 и 12392-66—30—40 *дб*) и электрофонов II и III классов (норма по ГОСТ 11157-65 — тоже 40 *дб*). Переменные резисторы типа СП3-12 с кривой вида *В* и номинальными сопротивлениями 4,7—33 *ком* включительно осуществляют регулирование громкости в диапазоне 50 *дб*, т. е. позволяют выполнить требование по этому показателю к радиовещательным приемникам, радиолам, и магнитофонам I и II классов, а также к электрофонам I класса; резисторы этого же типа с номинальными сопротивлениями 47 *ком* — 2,2 *Мом* позволяют осуществлять регулирование громкости в диапазоне 60 *дб*, т. е. соответствуют требованиям на радиовещательные приемники, радиолы, бытовые магнитофоны и электрофоны высшего класса.

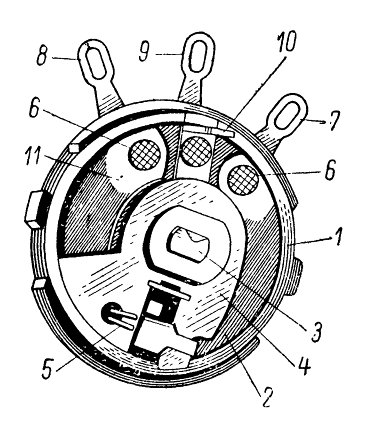


Рис. 12. Внутреннее устройство переменных резисторов типов СП-I и СП-V.

Ниже дается краткое описание конструкции переменных и подстроечных резисторов.

Переменный резистор типа СП-I (рис. 12). К цилиндрическому корпусу *1* из пластмассы приклеена дужка *2* из гетинакса. Поверхность последней покрыта тонким токопроводящим слоем композиции, состоящей из частиц углерода (сажи), размешанного в лаке. После нанесения этого состава на гетинакс он подвергается полимеризации в условиях высокой температуры. У резисторов с линейной кривой изменения сопротивления (*А* на рис. 2) удельная проводимость слоя равномерна по всей длине дужки, а у резисторов с кривыми видов *Б* и *В* изменяется от одного конца дужки к другому. В центре корпуса имеется металлическая втулка, внутри которой свободно вращается металлическая ось *3* с гетинаксовой пластинкой *4* на одном ее конце. На гетинаксовой пластинке укреплена контактная щетка *5*, состоящая из нескольких изогнутых пружинящих проволочек. Она прижимается к поверхности слоя на дужке и электрического соединения с осью не имеет.

Концы слоя углерода имеют серебряное покрытие *11*; через него и заклепки *6* проводящий слой соединен с выводными лепестками *7* и *8*. Щетка имеет соединение со средним выводным лепестком *9*. При вращении оси щетка скользит по поверхности проводящего слоя на дужке, вследствие чего сопротивление между средним и крайними выводами изменяется. Полный угол вращения оси

и щетки, ограничиваемый упором 10, составляет около 260°. Описанный механизм закрыт металлическим экраном, предохраняющим его от механических повреждений, пыли, частично от влаги.

С помощью втулки, на внешней поверхности которой имеется резьба, и навинчиваемой на нее гайки резистор крепится в отверстии монтажной панели. Выступающий из втулки конец оси, на который насаживается ручка, имеет диаметр 6 *мм*. Ось имеет на конце плоский срез для крепления ручки или шлиц для вращения оси с помощью отвертки. Последнюю конструкцию применяют в случаях, когда переменным резистором в эксплуатации приходится пользоваться редко.

Подстроечный резистор типа СП-II имеет такое же внутреннее устройство, как и резистор типа СП-1, но он снабжен фиксатором положения оси в виде дополнительной разрезной втулки с навинчивающейся на нее гайкой. С помощью последней ось можно застопорить в любом положении после того, как закончена регулировка, и этим исключить возможность случайно нарушить установленное положение контактной щетки на дужке.

Переменные резисторы типов СП-V, ВК-а, ВК-б, ВКУ-1а, ВКУ-1б, ВКУ-2а, ВКУ-2б, СП3-2а, СП3-12 и подстроечный резистор типа СП3-2б имеют конструкцию, подобную резистору типа СП-I, только резисторы типов СП3-2а и СП3-2б не имеют втулок и гаек для крепления, а оси их пластмассовые. Резисторы типа СП3-2б изготовляют только с короткими осями, имеющими на торцах шлицы для регулировки с помощью отвертки.

Резисторы типа СП3-12, обеспечивающие расширенный диапазон регулирования, разработаны и выпускаются специально для радиоприемников и радиол I и II классов. Сопротивления резисторов этого типа, предназначенных для регулирования тембра, изменяются по кривой, показанной на рис. 2 штриховой линией.

Малогабаритные резисторы типов СП-0,4, СП3-4а, СП3-4б, СП3-6 и СП3-9 имеют упрощенную конструкцию контактной щетки.

Резисторы типов СП3-10б, ТКД-а и ТКД-б отличаются от резисторов типов СП-I и ВК наличием двухполюсного выключателя, который приводится в действие вращением оси резистора, при положении его контактной щетки в начале токопроводящего слоя.

Резисторы типов СП3-4в и СП3-4г с выключателями отличаются от резисторов типа СП3-10б уменьшенными размерами.

Переменные резисторы типов СП3-3а — СП3-3в, используемые в карманных и переносных транзисторных, радиовещательных приемниках (регуляторы громкости), в слуховых аппаратах и в другой малогабаритной аппаратуре, не имеют металлических экранов. На осях этих резисторов укреплены ручки с накаткой. Кроме контактных щеток, ручки эти приводят в действие выключатели, которые составляют единое конструктивное целое с резисторами.

Подстроечные резисторы типов СП3-1а и СП3-1б металлических экранов не имеют. Оси этих резисторов пластмассовые со шлицами под отвертку. Резисторы типа СП3-1а устанавливаются параллельно, а СП3-1б — перпендикулярно плате с печатным монтажом.

Переменные резисторы типов СП-III, СП3-4д и СП3-7. Каждый из них представляет собой два электрически независимых переменных резистора, имеющих общую ось. С помощью такого сдвоенного резистора можно регулировать напряжение или ток одновременно в двух электрических цепях. Резисторы типа СП3-7, раз-

работанные специально для стереофонических устройств, отличаются тем, что обеспечивают синхронное регулирование усиления или тембра в двух каналах с разбалансом, не превышающим 3 *дб* на участках токопроводящих элементов с сопротивлением более $0{,}06 R_{ном}$. Данные, обозначенные на экранирующей крышке выше товарного знака завода-изготовителя (номинальная мощность рассеяния, номинальное сопротивление, характер изменения сопротивления — буквы А, Б, В согласно рис. 2), относятся к первому резистору, считая от оси, а данные ниже товарного знака — ко второму резистору.

Подстроечный сдвоенный резистор типа СП-IV аналогичен резистору СП-III по внутреннему устройству, но ось его имеет на конце шлиц под отвертку и снабжена стопором такой же конструкции, как у резистора типа СП-II.

Переменные резисторы типов СПЗ-10а, СНК-а и СНК-б. Каждый из них состоит из двух электрически независимых переменных резисторов, управляемых отдельными осями. Последние расположены концентрически: ось резистора, ближайшего к втулке крепления, пустотелая, внутри нее находится сплошная ось другого резистора. На оси насаживаются две раздельные ручки управления различного диаметра.

Переменные резисторы типов СПЗ-8, СПЗ-10в, СНВКД-а и СНВКД-б. Устройство этих сдвоенных резисторов подобно конструкции резисторов типов СПЗ-10а и СНК, но с добавлением выключателя питания, который приводится в действие внутренней осью в начале угла ее вращения. В резисторах типа СПЗ-8 выключатель однополюсный, в остальных двухполюсный.

Отличительной особенностью резистора типа СПЗ-8 является длительная работоспособность в условиях воздействия вибрации и тряски, а также в атмосфере с высокой влажностью. Один из входящих в него резисторов всегда имеет характеристику вида *В* и используется для регулирования громкости, а другой с характеристикой вида *А* — для регулирования тембра.

Резисторы типа СПО (сопротивление переменное объемное). Токопроводящий слой неорганического состава впрессован в дугообразную канавку в керамическом корпусе (из стеатита) и имеет значительно бо́льшую толщину (0,3—0,4 *мм*), чем у описанных выше композиционных резисторов. Поэтому резисторы типа СПО и называются объемными. Их контактные щетки изготовлены из пластичного проводящего материала, в который входит углерод (графит, сажа).

Полный угол вращения осей около 290°.

Верхний предел рабочей температуры резисторов типа СПО значительно выше, чем у резисторов типов СП, ВК, ТК, и при этом они могут работать без снижения мощности при значительно более высоких температурах (см. табл. 2). Существенно лучше влагостойкость у резисторов типа СПО. Высокоомные резисторы типа СПО имеют несколько меньший уровень шумов.

Недостатком некоторых резисторов типа СПО является недостаточная плавность хода токосъемной щетки при вращении оси.

Обозначение переменных и подстроечных резисторов в технической документации. В спецификациях к схемам радиоаппаратуры и в другой технической документации основные данные этих резисторов указывают сокращенными записями в следующем виде:

1. Тип резистора. Буквы СП обозначают «сопротивление переменное». Арабская цифра после букв СП имеет следующее значение: 3 — резистор непроволочный, пленочный, композиционный; 4 — непроволочный объемный; 5 — проволочный.

2. Обозначение варианта конструктивного исполнения резистора в виде числа и буквы (имеется не всегда). Вариант конструктивного исполнения композиционных резисторов старых типов обозначается римской цифрой (I—V), которая ставится непосредственно после букв СП.

3. Номинальная мощность рассеяния, *вт*.

4. Буквенное обозначение кривой, по которой изменяется сопротивление, согласно рис. 2.

5. Номинальное сопротивление, *ом*, *ком*, *Мом*.

6. Допускаемое отклонение от номинального сопротивления, % (если оно меньше ±20%).

7. Вид конца оси: ОС-1—гладкая ось; ОС-2 — накатка для насадки ручки; ОС-3—шлиц под отвертку; ОС-5 — лыска (срез) для крепления ручки управления.

8. Длина выступающего конца оси, *мм* (если резисторы какого-либо типа изготавливаются с осями только одного размера, последняя величина в обозначении отсутствует).

После наименования типа и конструктивного варианта сдвоенного резистора идет горизонтальная черта. Над ней указываются данные одного резистора, а под чертой — другого.

Пример обозначения. Резистор типа СП-V с номинальной мощностью рассеяния 0,5 *вт*, линейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси, номинальным сопротивлением 470 *ком* и допускаемым отклонением ±30%, с лыской на конце оси длиной 60 *мм* обозначается так: СПV-0,5-А-470К30% ОС-5-60.

Расчет рассеиваемой на резисторе мощности. Выбор типа и вида переменного (или подстроечного) резистора определяется его местом в схеме (назначение) и электрической нагрузкой, при которой резистор должен работать. В регуляторах громкости радиоприемников и усилителей низкой частоты можно использовать переменные резисторы с любой номинальной мощностью рассеяния; при этом, чтобы регулирование громкости было достаточно равномерным как при слабых, так и при сильных сигналах, здесь следует применять резисторы с кривой вида *В* (рис. 2), учитывая сказанное в начале этого раздела о требуемых диапазонах регулирования для аппаратуры различных классов.

Для регулирования тембра пригодны переменные резисторы с кривой вида *А*, также с любой мощностью рассеяния. Более равномерное регулирование тембра получается при использовании резисторов с кривой изменения сопротивления, показанной на рис. 2 штриховой линией.

Регулирование напряжений и токов питания осуществляют переменными или подстроечными резисторами с кривой вида *А*. В последнем случае необходимо иметь в виду, что для увеличения надежности работы и срока службы резисторов типов СП-I—СП-V, СП-0,4 и всех разновидностей резисторов типа СП3 рассеиваемая на каждом из них мощность не должна превышать 40—60% от мощности, допускаемой для наибольшей ожидаемой в эксплуатации температуры. С той же целью рассеиваемую резисторами типа СПО мощность рекомендуется снижать на 20—30%.

Рассеиваемая на переменном резисторе мощность $P_{расс}$ зависит не только от его сопротивления и подаваемого на него напряжения, но и от схемы включения резистора. Приводим формулы для расчета мощности рассеяния резисторов с кривой вида *А* для различных случаев их применения.

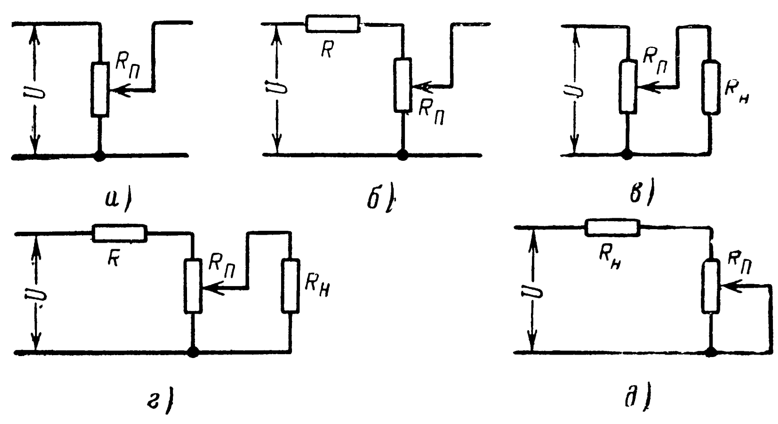


Рис. 13. К расчету мощности, рассеиваемой переменным резистором.

1. Переменный резистор с сопротивлением $R_п$ используется для регулирования напряжения в качестве ненагруженного потенциометра, т. е. ток в нагрузку не ответвляется (рис. 13,*а*):

$$P_{расс} = \frac{U^2}{R_п} \leqslant P_t. \qquad (5)$$

Сопротивление резистора, при котором рассеиваемая мощность не превышает заданной,

$$R_п \geqslant \frac{U^2}{P_t}. \qquad (6)$$

Напряжение U не должно превышать $U_{макс}$, указанного в табл. 9.

Вместо расчета по формулам (5) и (6) можно воспользоваться графиком на рис. 4.

2. То же, но последовательно с переменным резистором в цепь питания включен постоянный резистор с сопротивлением R (рис. 13,*б*):

$$P_{расс} = \left(\frac{U}{R_п + R}\right)^2 R_п \leqslant P_t. \qquad (7)$$

3. Переменный резистор используется для регулирования напряжения; при этом ответвляется ток в нагрузку, имеющую сопротивление $R_н$ (рис. 13,*в*):

$$P_{расс} = \frac{U^2}{R_п}\left(\frac{R_п}{R_н} + 1\right)^2 \leqslant P_t. \qquad (8)$$

4. То же, но последовательно с переменным резистором включен постоянный резистор с сопротивлением R (рис. 13,*г*):

$$P_{\text{расс}} = \left(\frac{U}{R + \frac{R_{\text{н}} R_{\text{п}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{п}}}} \right)^2 R_{\text{п}} \leqslant Pt. \qquad (9)$$

Если $R_{\text{н}} > 10R_{\text{п}}$, то вместо формул (8) и (9) можно пользоваться формулами (5) и (6) соответственно.

5. Переменный резистор используется для регулирования тока в нагрузке $R_{\text{н}}$ (в качестве реостата) (рис. 13,*д*):

$$P_{\text{расс}} = \left(\frac{U}{R_{\text{н}}} \right)^2 R_{\text{п}} \leqslant Pt. \qquad (10)$$

Пример 3. Определить минимально необходимое сопротивление $R_{\text{п}}$ ненагруженного переменного резистора типа СП-V с номинальной мощностью рассеяния $P_{\text{ном}} = 0{,}5$ *вт* для подключения его к источнику тока с напряжением $U = 220$ *в*. Принимаем:

$$Pt = \frac{P_{\text{ном}}}{2} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25 \text{ вт.}$$

При этом по формуле (6)

$$R_{\text{п}} \geqslant \frac{220^2}{0{,}25} = 194 \text{ ком.}$$

Выбираем переменный резистор с ближайшим большим номинальным сопротивлением 220 *ком*.

Такой же результат можно получить, пользуясь графиком на рис. 4.

Пример 4. Выбрать переменный непроволочный резистор для использования его в качестве потенциометра при градуировке вольтметра (рис. 14). Напряжение источника питания схемы $U = 170$ *в*, образцовый вольтметр с конечной отметкой шкалы 150 *в* имеет внутреннее сопротивление $R_1 = 600$ *ком* (ток полного отклонения 250 *мка*), градуируемый вольтметр с такой же шкалой имеет внутреннее сопротивление $R_2 = 150$ *ком* (ток полного отклонения 1 *ма*).

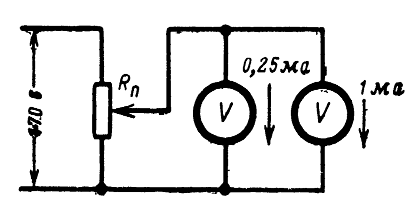


Рис. 14. К примеру расчета 4.

Сопротивление потенциометра $R_{\text{п}}$ должно быть по крайней мере в 2 раза меньше сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$, т. е. параллельно соединенных сопротивлений вольтметров R_1 и R_2.

Сопротивление нагрузки потенциометра

$$R_{\text{н}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{600 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^3}{600 \cdot 10^3 + 150 \cdot 10^3} = 120 \cdot 10^3 \text{ ом} = 120 \text{ ком.}$$

Следовательно, переменный резистор должен иметь сопротивление не более 120 : 2 = 60 *ком*. Выбираем переменный резистор с номинальным сопротивлением $R_{\text{п}} = 47$ *ком* ($47 \cdot 10^3$ *ом*).

Согласно формуле (8) рассеиваемая на переменном резисторе мощность

$$P_{\text{расс}} = \frac{170^2}{47 \cdot 10^3}\left(\frac{47 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} + 1\right)^2 \approx 1{,}2 \text{ } вт.$$

Следовательно, в схеме градуировки вольтметра в данном конкретном случае можно применить переменный непроволочный резистор СПО-2 объемного типа.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

Терморезисторами называют резисторы, сопротивление которых значительно и нелинейно зависит от температуры (рис. 15); полупроводниковые терморезисторы обладают большими отрицательными температурными коэффициентами. Терморезисторы называют также термисторами, термосопротивлениями, термочувствительными резисторами, термоуправляемыми резисторами. Напряжение и ток через терморезистор также находятся между собой в нелинейной зависимости (рис. 16).

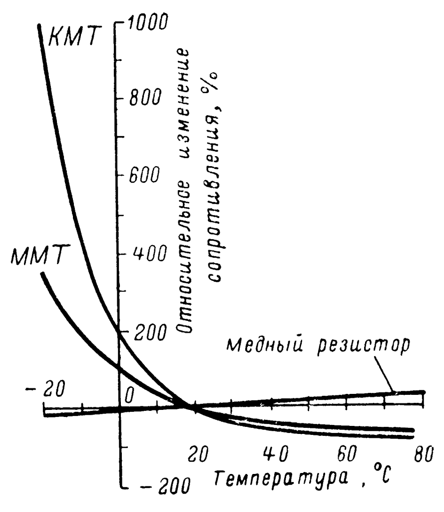


Рис. 15. Температурные характеристики терморезисторов.

Конструктивно полупроводниковый терморезистор представляет собой непроволочный резистор объемного типа в виде стержня, диска, шайбы или прямоугольной пластинки, изготовленной из смеси окислов различных металлов: меди, марганца, кобальта и др., либо из их сернистых соединений. Из числа отечественных терморезисторов наиболее распространены кобальто-марганцевые типов КМТ и СТ1, медно-марганцевые типа ММТ и медно-кобальто-марганцевые типа СТ3.

Как видно из рис. 15, при изменении температуры от 0 до 80° С сопротивление полупроводникового терморезистора уменьшается в сотни раз, в то время как сопротивление резистора, изготовленного из медного провода, в том же интервале температур увеличивается примерно только на 40%.

Полупроводниковые терморезисторы упомянутых типов широко используют для температурной стабилизации схем радиоэлектронной аппаратуры (телевизоры, транзисторные радиоприемники), а также для измерения и регулирования температуры, в качестве датчиков в устройствах дистанционного управления и для других целей.

Значения ТКС отечественных терморезисторов при температуре 20±1° С приведены в табл. 3. Для других температур средние значения ТКС наиболее распространенных терморезисторов можно найти по кривым, представленным на рис. 17.

К числу важных параметров терморезисторов относятся также тепловая постоянная времени и минимальная мощность рассеяния (табл. 10).

Тепловая постоянная времени τ характеризует тепловую инерционность терморезистора. Это время в секундах, в течение которого температура терморезистора становится равной 63° С с момента перенесения его из воздушной среды с температурой 0° С в воздушную среду с температурой 100° С.

Минимальная мощность рассеяния $P_{мин}$ — это величина мощности рассеяния, при которой терморезистор при похождении через него тока практически не нагревается выше температуры окружающей среды, и поэтому сопротивление его практически не изменяется. Условно считают, что нагрев от действия тока отсутствует, если при этом сопротивление терморезистора уменьшается не более чем на 1% (измерение производят в спокойном воздухе при температуре 20±1° С).

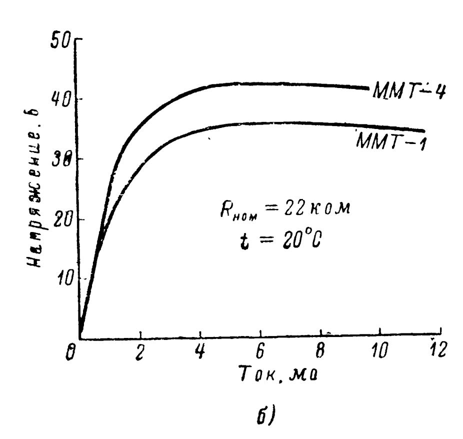


Рис. 16. Вольт-амперные характеристики терморезисторов.

Номинальная мощность рассеяния $P_{ном}$ определяется как мощность, разогревающая терморезистор, находящийся в спокойном воздухе с температурой 20±1° С, до предельной температуры $t_{макс}$.

Предельная температура нагрева терморезистора является одновременно максимальной рабочей температурой окружающей среды $t_{макс}$ (см. табл. 2).

Терморезисторы типов КМТ-1 и ММТ-1. Каждый из этих терморезисторов представляет собой стержень из соответствующего полупроводникового материала, на концы которого напрессованы металлические колпачки с проволочными выводами. С помощью по-

следних терморезистор монтируется в схему с применением пайки. Стержень вместе с колпачками покрыт органической эмалью зеленого цвета. По внешнему виду эти терморезисторы подобны резисторам типа МЛТ (см. рис. 7).

Тепловая постоянная времени τ терморезисторов типа КМТ-1 и ММТ-1 не превышает 85 *сек*.

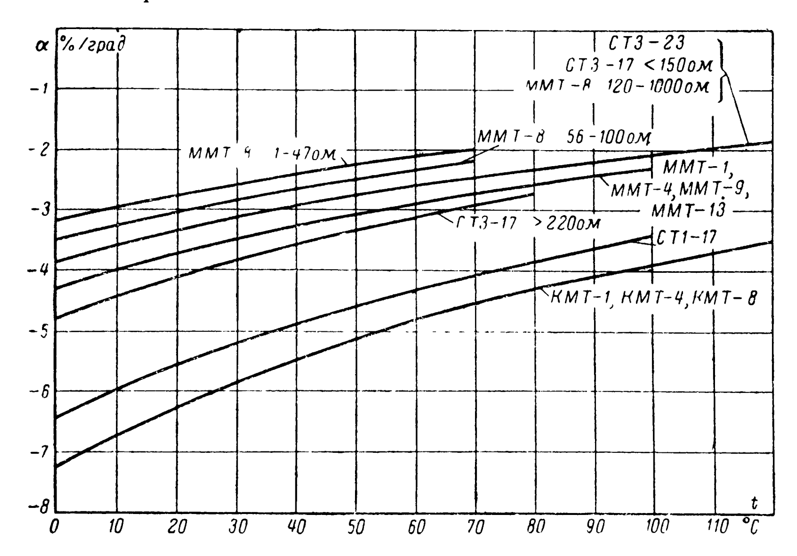


Рис. 17. Зависимость ТКС терморезисторов от температуры.

Терморезисторы типов КМТ-4 и ММТ-4. Терморезистор каждого из указанных типов представляет собой полупроводниковый стержень *1*, заключенный в литой металлический герметический корпус *3* цилиндрической формы из красной меди (рис. 18). Один из металлических колпачков *2* на полупроводниковом стержне впаян в корпус с помощью оловянно-свинцового сплава *4*; таким образом, корпус терморезистора является одним из его выводов. Для удобства включения корпуса терморезистора в схему к нему приварен проволочный вывод *5*. Другой проволочный вывод *6* от верхнего колпачка терморезистора выходит из корпуса через впаянный в него стеклянный изолятор *7*. Для улучшения теплопередачи между внутренними стенками корпуса терморезистора и полупроводниковым стержнем пространство между ними заполнено медной фольгой *8*.

Тепловая постоянная времени терморезисторов типов КМТ-4 и ММТ-4 не превышает 115 *сек*.

Терморезистор типа ММТ-6 представляет собой тонкий медно-марганцевый стержень (∅ около 0,8 *мм*), из торцов которого выходят проволочные выводы толщиной 0,2 *мм*. Стержень покрыт влагостойкой эмалью. Изготовляют терморезисторы типа ММТ-6 с номинальными сопротивлениями по ряду Е6. Их тепловая постоянная времени в спокойном воздухе не превышает 35 *сек*.

Таблица 10

Терморезисторы

Тип терморезистора	Габаритные размеры, *мм**	Пределы $R_{ном}$	Допуск, %	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\ макс}$, *мвт*	$P_{мин}$, *мвт*
		Кобальто-марганцевые				
СТ1-17, КМТ-17	∅ 5×2▽	330 *ом*—22 *ком*	±10 ±20	—	0,2	0,5
КМТ-1	∅ 3×13	22 *ком*—1 *Мом*	±20	1,0	0,3	1
КМТ-4	∅ 6,5×24	22 *ком*—1 *Мом*	±20	0,8	0,3	1
КМТ-8	∅ 23×15	100 *ом*—10 *ком*	±10	0,6	1,0	3
КМТ-12	∅ 17×3▽	100 *ом*—10 *ком*	±30	—	0,3	1,3
		Медно-марганцевые				
ММТ-1	∅ 3×13	1—220 *ком*	±20	0,6	0,4	1,3
ММТ-4	∅ 6,5×24	1—220 *ком*	±20	0,7	0,5	2
ММТ-6	∅ 0,8×8	10—100 *ком*	±20	0,05	—	—
ММТ-8	∅ 23×15	1 *ом*—1 *ком*	±10	0,6	2,0	10
ММТ-9	∅ 19×3**	10 *ом*—4,7 *ком*	±10	—	2,0	10
ММТ-12	∅ 17×3	4,7 *ом*—1 *ком*	±30	—	0,5	2
ММТ-13	∅ 10×3,6	10 *ом*—2,2 *ком*	±20	—	0,3	1
		Медно-кобальто-марганцевые				
СТ3-17	∅ 5×2▽	33—330 *ом*	±10 ±20	—	0,2	0,8
СТ3-23а	17×8×3▽	2,2—4,7 *ом*	} ±10 } ±20	—	2,0	10
СТ3-23б	∅ 14×3▽	2,2—4,7 *ом*				

* Указаны максимальные размеры без выводов.

** Размер каждой шайбы.

▽ Толщина с учетом выводов.

Применяют терморезисторы типа ММТ-6 преимущественно в качестве датчиков в приборах для измерения и автоматического регулирования температуры и в качестве реле времени. Вместе с тем их можно применять и для температурной компенсации цепей радиоаппаратуры.

Терморезистор типа ММТ-9 представляет собой шайбу или несколько шайб из смеси окислов меди и марганца (рис. 9). Плоские поверхности шайбы покрыты слоями серебра, которые используются как выводные электроды. Боковые поверхности покрыты эмалью.

Терморезисторы типов КМТ-12, ММТ-12, ММТ-13 представляют собой одну шайбу такой же конструкции из соответствующего материала, но меньшего диаметра. К серебряным электродам припаяны проволочные выводы. Эмаль покрывает шайбу со всех сторон.

Терморезисторы типов СТ1-17, КМТ-17 имеют форму диска (рис. 20), изготовленного из окислов кобальта и марганца. Терморезистор типа СТ3-17 имеет такую же форму и изготовлен из окислов меди, кобальта и марганца. Проволочные выводы припаяны к металлическим электродам, нанесенным на плоские поверхности дисков. У терморезистора КМТ-17 выводы мягкие, из многожильного провода. Тепловая постоянная времени τ этих терморезисторов не превышает 30 *сек.*

Рис. 18. Герметизированный терморезистор **ММТ-4**, КМТ-4 в разрезе.

Терморезистор типа СТ3-23 представляет собой диск или прямоугольную пластинку, изготовленную из окислов меди, кобальта и марганца. Проволочные выводы припаяны к металлическим электродам, нанесенным на плоскости пластинки (диска).

Терморезисторы типов КМТ-8 и ММТ-8 (рис. 21) состоят из кобальто-марганцевых или медно-марганцевых шайб *1* соответственно, скрепленных болтом *2* и заключенных в металлический корпус *4* с лепестковыми контактными выводами *6* на стеклянных

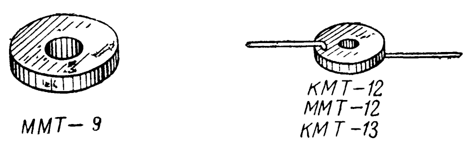


Рис. 19. Шайбовые терморезисторы.

изоляторах *5*. Корпус наполнен внутри компаундом *3*. Полупроводниковые шайбы изолированы от корпуса.

Эти терморезисторы применяют главным образом в электроизмерительных приборах для повышения точности их показаний в широком диапазоне температур.

Тепловая постоянная времени не нормируется.

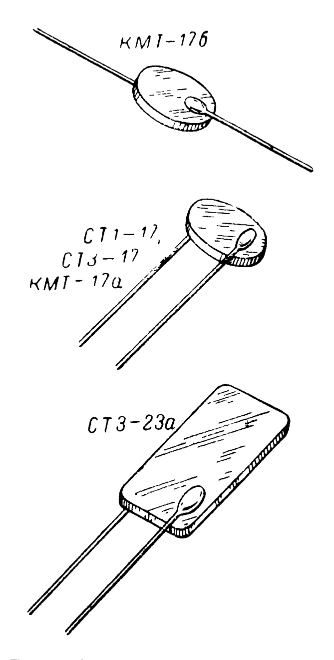


Рис. 20. Терморезисторы типов КМТ-17, СТ1-17, СТ3-17 и СТ3-23а.

Расчет сопротивления терморезистора при различных температурах. При изменении температуры сопротивление терморезистора изменяется по экспоненциальному закону; соотношение между значениями его сопротивлений при двух различных температурах определяется по формуле

$$R_2 = R_1 e^{\alpha \Delta T}, \qquad (11)$$

где R_1, R_2 — сопротивления терморезистора при температурах t_1 и t_2;

$e = 2{,}78$ — основание натуральных логарифмов;

$\Delta T = t_2 - t_1$, т. е. диапазон изменения температуры;

α — температурный коэффициент сопротивления в середине диапазона.

Величину $e^{\alpha \Delta T}$ легко найти по графику на рис. 22.

Пример 5. Вычислить сопротивление терморезистора СТ3-23-4,7 *ом*, при температуре 60° С.

Расчет: 1. Диапазон изменения температуры

$\Delta T = 60 - 20 = 40$ *град*.

2. При температуре 40° С согласно графику на рис. 17 терморезистор типа СТ3-23 обладает средним температурным коэффициентом — 3%/*град*.

3. По графику на рис. 18 находим, что величинам $\Delta T = 40$ *град* и $\alpha = -3$%/*град* соответствует значение $e^{\alpha \Delta T} = 0{,}3$.

4. Следовательно, при температуре 60° С терморезистор СТ3-23-4,7 *ом* будет иметь сопротивление $R = 4{,}7 \cdot 0{,}3 = 1{,}4$ *ом*.

Расчет электрической цепи с заданным ТКС. При необходимости иметь электрическую цепь с заданным отрицательным ТКС, абсолютное численное значение которого меньше, чем ТКС терморезистора, включают параллельно или последовательно с последним обычный резистор с линейной вольт-амперной характеристикой (например, типа ВС

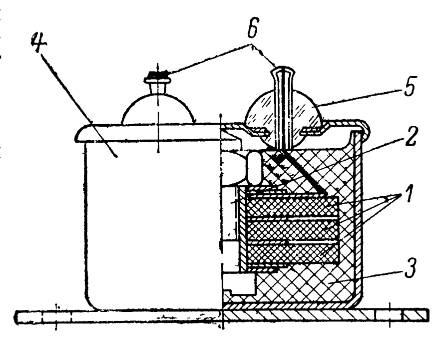


Рис. 21. **Герметизированный шайбовый терморезистор** типа КМТ-8 или ММТ-8.

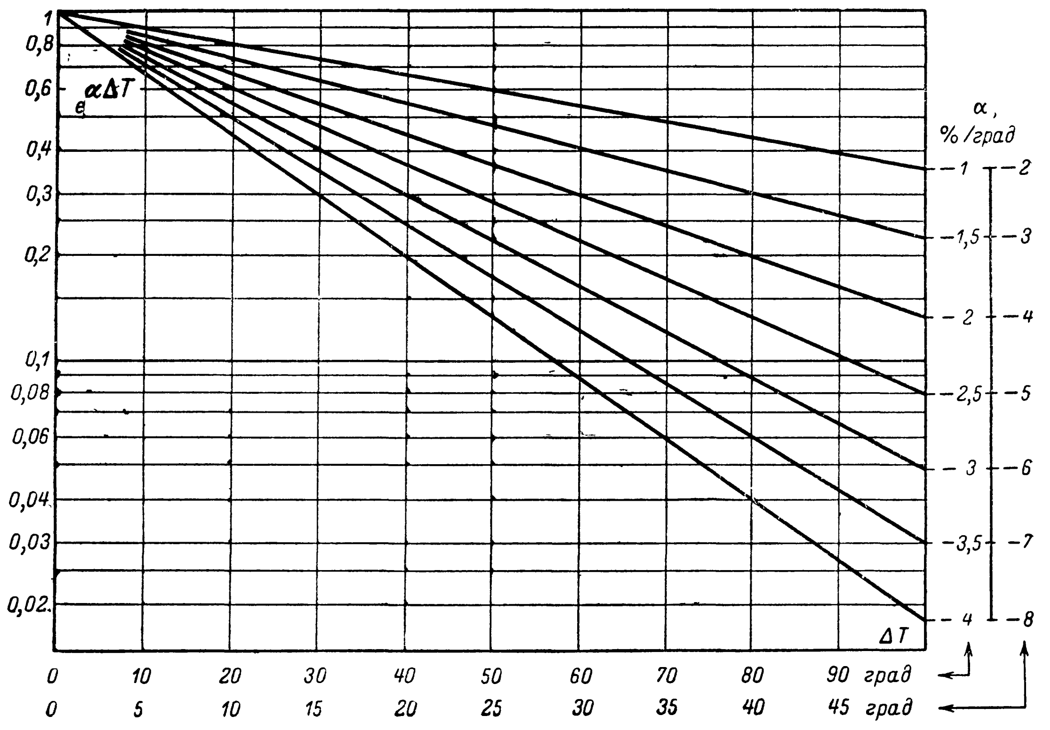


Рис. 22. График для определения сопротивлений терморезисторов при различных температурах.

или МЛТ). При расчете такой цепи задается ее общее сопротивление R_0, температурный коэффициент сопротивления цепи α_0 и средний температурный коэффициент α терморезистора, который предполагается применить (см. табл. 3, рис. 17).

Задаваясь номиналом терморезистора, который имеет сопротивление такого же порядка, как и сопротивление R_0, находят сопротивление резистора, при включении которого получится ТКС, близкий по величине к требуемому.

Поскольку температурный коэффициент обычного резистора значительно меньше ТКС терморезистора, величиной ТКС резистора при расчете можно пренебречь.

Возможны такие варианты схемы.

1. Резистор с сопротивлением $R_ш$ включен параллельно терморезистору (рис. 23,*а*). В этом случае сопротивление терморезистора R должно быть больше заданного общего сопротивления цепи R_0. Значение сопротивления вычисляют по формуле

Рис. 23. К расчету электрической цепи с заданным ТКС.

$$R_ш = \frac{RR_0}{R - R_0}. \qquad (12)$$

Выбирают резистор с сопротивлением, ближайшим к полученному по формуле (12) При этом

$$\alpha_0 = \frac{\alpha R_ш}{R_ш + R}. \qquad (13)$$

2. Резистор с сопротивлением $R_д$ включен последовательно с терморезистором (рис. 23,*б*). В данном случае сопротивление R должно быть меньше заданного общего сопротивления электрической цепи R_0 и

$$R_д = R_0 - R. \qquad (14)$$

Выбирают резистор с сопротивлением, близким к полученному по формуле (14). Тогда

$$\alpha_0 = \frac{\alpha R}{R_0}. \qquad (15)$$

Расчет температурной компенсации транзисторного каскада. Коллекторные токи транзисторов при повышении температуры, как известно, увеличиваются, вследствие чего режимы работы каскадов изменяются. Это явление, называемое температурной нестабильностью, весьма вредно, особенно в оконечных низкочастотных каскадах, работающих в режиме АВ при малых токах покоя. В связи с этим при конструировании радиоэлектронной аппаратуры принимают меры к тому, чтобы изменения коллекторных токов при колебаниях температуры были минимальными Широко распространен метод температурной стабилизации путем включе-

ния резисторов в цепи эмиттеров. Весьма эффективна схема температурной компенсации оконечного каскада с подачей смещения на базы транзисторов с делителя напряжения, содержащего терморезистор (рис. 24). Наиболее подходят для этой цели низкоомные терморезисторы типов ММТ-9, ММТ-13 и СТЗ-17, имеющие температурные коэффициенты сопротивления —3÷5%/*град*. Расчет производят в следующем порядке:

1. Определяют входное сопротивление транзистора по формуле

$$r_{вх} = \frac{U_{б.э} - u_{б.э}}{I_б - i_б}, \qquad (16)$$

где $U_{б.э}$ и $I_б$ — напряжение и ток смещения базы транзистора в рабочей точке;

$u_{б.э}$ и $i_б$ — пиковые значения напряжения и тока базы транзистора.

2. Выбирают терморезистор с сопротивлением R, примерно в 2 раза меньшим входного сопротивления транзистора $r_{вх}$.

3. Вычисляют требуемое сопротивление шунтирующего резистора $R_ш$ по формуле

$$R_ш = \frac{RD_t}{-U_{б.э}(-0{,}9\alpha) - D_t}, \qquad (17)$$

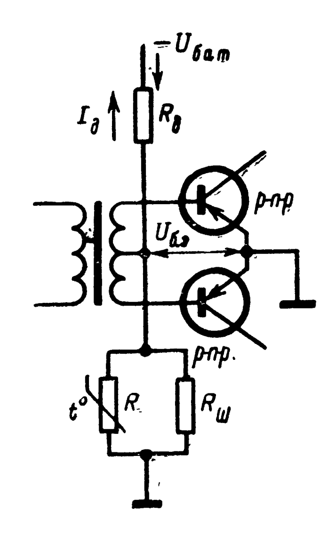


Рис. 24. К расчету делителя напряжения цепи базы транзисторного каскада.

где

$$D_t = \left|\frac{\Delta U_{б.э}}{\Delta t}\right|_{I_к = \text{const}}$$

— изменение напряжения смещения базы при изменении температуры на 1 *град*, обеспечивающее компенсацию изменения тока коллектора; для германиевых сплавных транзисторов широкого применения типично значение $D_t = 0{,}002 \div 0{,}003$ *в/град*.

4. Выбирают терморезистор с сопротивлением, близким к вычисленному по формуле (17).

5. Вычисляют ток, потребляемый делителем напряжения от источника питания (батареи) с напряжением $U_{бат}$, по формуле

$$I_д = \frac{U_{б.э}(R_т + R_ш)}{RR_ш}. \qquad (18)$$

6. Определяют сопротивление резистора $R_д$ по формуле

$$R_д = \frac{U_{бат} - U_{б.э}}{I_д}. \qquad (19)$$

Если в последнюю формулу подставить значение тока $I_д$ в миллиамперах, то сопротивление $R_д$ получится в килоомах.

Пример 6. Рассчитать делитель напряжения цепи базы для транзисторного двухтактного оконечного каскада, работающего в режиме АВ на транзисторах типа МП41. Задано: напряжение батареи $U_{бат}=9$ *в*, напряжение смещения базы транзистора в рабочей точке $U_{б.э}=-0{,}11$ *в*, входное сопротивление транзистора $r_{вх}=150$ *ом*, коэффициент $D_t=-0{,}0025$ *в/град*, диапазон рабочих температур 20—60° С.

Выбираем терморезистор типа СТ3-17 с номинальным сопротивлением 68 *ом*, для которого при температуре 20° С среднее значение температурного коэффициента $\alpha_{20}=-3{,}5\%/град=-0{,}035\ град^{-1}$. По формуле (17)

$$R_ш=\frac{68\cdot 0{,}0025}{-0{,}11\cdot 0{,}9\,(-0{,}035)-0{,}0025}=144\ ом.$$

Выбираем резистор сопротивлением 150 *ом*.

Согласно формулам (18) и (19)

$$I_д=\frac{0{,}11\,(68+150)}{68\cdot 150}=2{,}4\ ма;$$

$$R_д=\frac{9-0{,}11}{2{,}4}=3{,}7\ ком.$$

Можно применить резистор $R_д$ с номинальным сопротивлением 3,6 или 3,9 *ком*.

ВАРИСТОРЫ

Варисторами называют резисторы объемного типа с резко нелинейными вольт-амперными характеристиками (рис. 25). Их сопротивления уменьшаются при увеличении приложенного напряжения (рис. 26). Характеристики варисторов симметричны при напряжениях и токах различных направлений, вследствие чего варисторы работоспособны как в цепях постоянного, так и в цепях переменного и импульсного токов.

Варисторы применяют, например, в делителях напряжения смещения на управляющие сетки электронных ламп для стабилизации этих напряжений, включают параллельно обмоткам выходных трансформаторов кадровой развертки для стабилизации напряжений подаваемых на отклоняющие катушки кинескопов. Такие включения варисторов использованы, в частности, в унифицированных отечественных телевизорах УНТ-47 и УНТ-59.

Изготавливают варисторы из карбида кремния с добавкой связующих керамических материалов методом спекания при высокой температуре (керамическая технология).

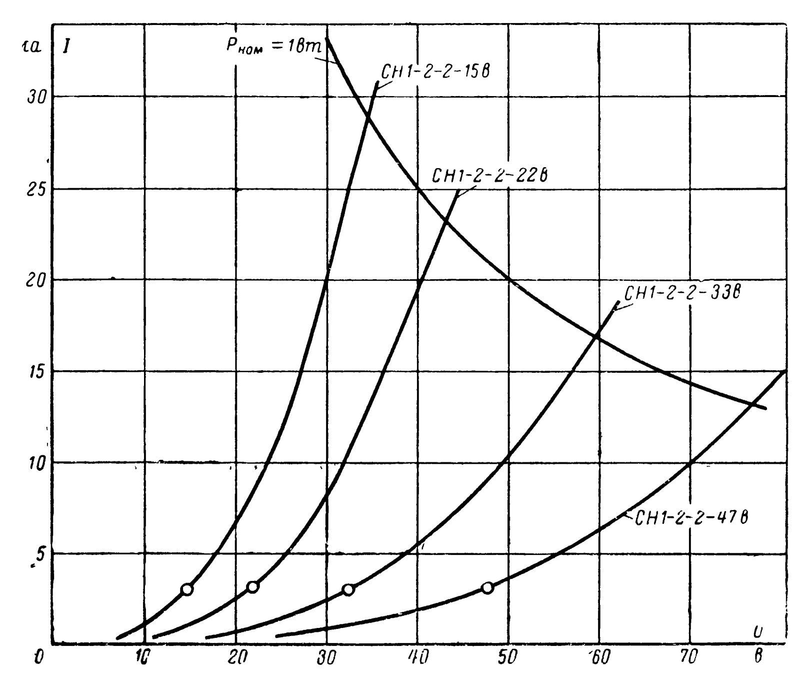


Рис. 25. Вольт-амперные характеристики варисторов.

В широком диапазоне напряжений и токов вольт-амперные характеристики варисторов описываются выражениями

$$\left.\begin{aligned} I &= \left(\frac{U}{C}\right)^{\beta}; \\ U &= C\sqrt[\beta]{I}, \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

где U и I — напряжение на варисторе в вольтах и ток через него в амперах;

C — постоянная, численно равная напряжению, при котором через варистор будет протекать ток в 1 *а*;

β — коэффициент нелинейности (постоянная, характеризующая **нелинейность вольт-амперной** характеристики), представляющий собой отношение статического сопротивления резистора $R_{ст}=U/I$ (сопротивление постоянному току) к его динамическому сопротивлению $R_д=dU/dI$ (сопротивление переменному току) в заданной точке вольт-амперной характеристики, т. е.

$$\beta=\frac{R_{ст}}{R_д}=\frac{U\,dI}{I\,dU}. \qquad (21)$$

Номинальное (классификационное) напряжение $U_{ном}$ является одной из основных характеристик варистора. Это такое напряжение, при подаче которого на выводы варистора через него проходит заданный (номинальный) ток величины $I_{ном}$ (табл. 11). При

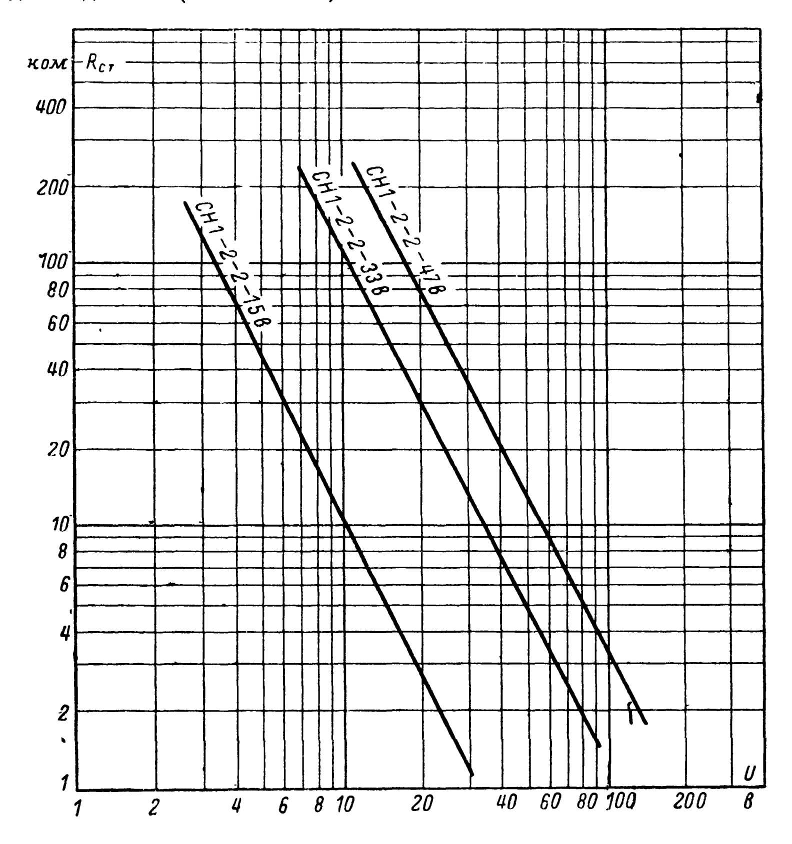


Рис. 26. Вольт-омные характеристики варисторов.

этом напряжение, при котором получается такой ток, для варисторов различных типов и номиналов может иметь отклонение от номинального значения на ±10 или ±20%.

Номинальное напряжение и допускаемое его отклонение маркированы на каждом варисторе. Например, на стержневом варисторе на номинальное напряжение 1 300 *в* с допуском ±10% имеется маркировка: СН1-1-1-1300 *в*±10%.

Необходимо иметь в виду, что номинальные напряжения и токи варисторов не следует понимать как эксплуатационные величины; их нужно рассматривать только как условные, классификационные параметры варисторов. К выводам варистора типа СН1-1 номинальное напряжение допустимо прикладывать только кратко-

Таблица 11

Варисторы

Тип варистора	Габаритные размеры, *мм**	$P_{ном}$, *вт***	$P_{t\,макс}$, *вт*^Δ	$I_{ном}$, *ма*	$U_{ном}$, *в*□	U_m не более, *в*	β не менее
Стержневые варисторы							
CH1-1-1	∅ 9×19	1,0	0,5	10	1 500	2 000	4,5
					1 300	1 700	4,5
					1 200	1 600	4,0
					1 000	1 500	4,0
					820	1 400	4,0
					680	1 300	4,0
					560	1 200	3,5
CH1-1-2	∅ 7×16	0,8	0,4	10	1 300	1 700	4,5
					680	1 300	4,0
					560	1 200	3,5
Дисковые варисторы							
CH1-2-1	∅ 16×4	1,0	0,4	2	270	800	3,5
					220	650	3,5
					180	550	3,5
					150	450	3,5
					120	360	3,5

* Указаны максимальные размеры (без выводов).

** Для варисторов типов CH1-1-1 и CH1-1-2 при температуре окружающей среды до 70° С, для варисторов типов CH1-2-1 и CH1-2-2 до 60° С и для варисторов типа CH1-3 до 75° С.

Δ При температуре 100° С.

□ Допускаемое отклонение номинального напряжения $U_{ном}$ при измерении классификационного тока $I_{ном}$ не должно превышать ±10% для варисторов типов CH1-1-1 и CH1-1-2 и ±10 или ±20% для варисторов типов CH1-2-1 и CH1-2-2.

Продолжение табл. 11

Тип варистора	Габаритные размеры, *мм**	$P_{ном}$, *вт***	$P_{t\ макс}$, *вт*$^{\Delta}$	$I_{ном}$, *ма*	$U_{ном}$, *в*□	U_m не более, *в*	β не менее
СН1-2-1	⌀ 16×4	1,0	0,4	2	100 82 68 56	300 250 210 180	3,5 3,5 3,5 3,5
СН1-2-2	⌀ 12×2	1,0	0,4	3	100 82 68 56 47 39 33 22 18 15	230 200 170 150 120 110 95 80 70 60	3,5 3,5 3,5 3,5 3,0 3,0 3,0 3,0 3,0 3,0
Микромодульные варисторы							
СН1-3	—	0,1	—	5	27 22 18 15 12 10 8,2 6,8 5,6	— — — — — — — — —	2,0 2,0 2,0 2,0 2,0 2,0 2,0 2,0 2,0

временно (например, для проверки этого параметра), поскольку произведение $U_{ном}I_{ном}$ для варисторов этого типа превышает допустимую мощность рассеяния, и поэтому при длительном воздействии номинального напряжения варистор перегреется и выйдет из строя.

Режим работы варистора должен выбираться в каждой конкретной схеме таким, чтобы средняя рассеиваемая на нем мощность и амплитуда напряжения U_m не превышали допустимых значений. Однако рассеиваемая варистором мощность в импульсе может быть больше среднего ее значения при условии, что среднее значение сохраняется в пределах допустимой величины.

Ток варистора I, когда к нему приложено напряжение U, отличающееся от номинального значения $U_{ном}$, определяют по формуле

$$I = I_{ном}\left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^{\beta}. \quad (22)$$

Статическое сопротивление варистора, обладающего коэффициентом нелинейности β, если к нему приложено напряжение U, равно:

$$R_{ст} = \frac{U^{\beta}_{ном}}{U^{\beta-1} I_{ном}}. \quad (23)$$

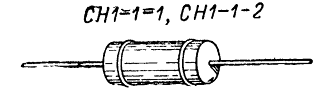
Сопротивление по этой формуле получается в килоомах, если ток $I_{ном}$ выражен в миллиамперах.

Динамическое сопротивление варистора

$$R_{д} = \frac{R_{ст}}{\beta}. \quad (24)$$

Тепловая постоянная времени варистора — это отрезок времени, в течение которого температура его тела снижается на 0,63 ΔT *град* после момента резкого снижения на ΔT, *град* температуры среды, в которой находится варистор.

Относительный температурный коэффициент тока варистора — величина, показывающая, на сколько процентов уменьшается ток варистора при увеличении температуры на 1 *град* при неизменном приложенном напряжении. Наибольшие значения температурного коэффициента тока варисторов приведены в табл. 3.



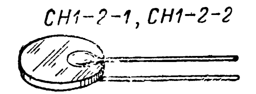


Рис. 27. Стержневой и дисковый варисторы.

Варисторы типов СН1-1-1 и СН1-2 представляют собой стержни из карбида кремния, торцы которых армированы металлическими колпачками с проволочными выводами (рис. 27).

Варисторы типов СН1-2-1 и СН1-2-2 представляют собой диски из карбида кремния, на плоскости которых методом шоопирования (горячая металлизация) нанесены слои металла. К последним припаяны медные проволочные выводы.

Тепловая постоянная времени этих варисторов 30—70 *сек*.

ФОТОРЕЗИСТОРЫ

Фоторезисторами (фотосопротивлениями, фотоэлементами с внутренним фотоэффектом) называют непроволочные резисторы, сопротивления которых уменьшаются при воздействии видимых световых или инфракрасных лучей.

Светочувствительные токопроводящие элементы фоторезисторов изготовляют из полупроводниковых материалов: сернистого свинца (фоторезисторы типов ФСА и СФ1), селенида кадмия (фоторезисторы типов ФСД и СФ3), сернистого кадмия (ФСК и СФ2), селенида свинца (СФ4), сернистого висмута, теллуристого свинца и др.

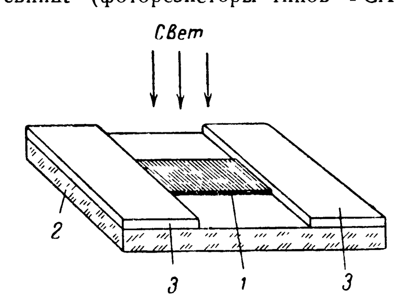


Рис. 28. Схематическое устройство токопроводящего элемента пленочного фоторезистора.

В пленочном фоторезисторе (рис. 28) полупроводниковый материал наносится в виде тонкого слоя *1* на стеклянную пластинку *2*. На концах этого слоя имеются металлические электроды *3*, через которые полупроводниковый слой соединяется с электрической цепью. В других типах фоторезисторов токопроводящим светочувствительным элементом является спрессованная из порошкообразного полупроводникового материала круглая таблетка или прямоугольная пластинка.

Токопроводящие элементы большинства фоторезисторов заключены в защитные пластмассовые или металлические кожухи с окнами, через которые свет воздействует на поверхность токопроводящих элементов.

Действие фоторезисторов основано на явлении, которое носит название внутреннего фотоэффекта. Сущность его заключается в том, что под воздействием на полупроводник лучистой энергии в его объеме появляются дополнительные носители тока за счет нарушения ковалентных связей между атомами. По мере увеличения освещенности концентрация носителей тока возрастает, а это ведет к уменьшению сопротивления полупроводника и увеличению тока через него.

Фоторезисторы с селенисто-кадмиевыми и сернисто-кадмиевыми фоточувствительными элементами (ФСД, ФСК, СФ2, СФ3) наиболее чувствительны к лучам видимого света, а с сернисто-свинцовыми элементами (ФСА, СФ1) — к лучам инфракрасной области спектра и в меньшей степени к видимому свету.

На основе полукристаллических сульфида и селенида кадмия изготовляют также приборы, чувствительные к рентгеновскому и гамма-излучению (РГД — рентгенограмма-датчик и ГД — гамма-датчик).

Фоторезисторы имеют следующие специфические параметры.

Темновое сопротивление — сопротивление фоторезистора в отсутствие освещенности. Серийно выпускаемые фоторезисторы имеют номинальное темновое сопротивление $R_{\text{т ном}}$ от нескольких десятков килоом до нескольких десятков мегом в зависимости от применяемого полупроводникового материала.

Сернисто-свинцовые фоторезисторы имеют номинальные значения темнового сопротивления по ряду Е6 с допускаемым отклонением ±20% (см. табл. 1). Для селенисто-кадмиевых и сернисто-кадмиевых фоторезисторов каждого типа нормируется минимальное значение темнового сопротивления; фактическое значение его в большинстве случаев на 1—2 порядка больше.

Кратность изменения сопротивления — отношение темнового сопротивления фоторезистора к его сопротивлению при освещенности 200 *лк* от источника с цветовой температурой 2 850° K *.

Темновой ток $I_т$ — ток, который течет через фоторезистор, включенный в цепь с источником э. д. с., в отсутствие освещенности. Для каждого типа фоторезистора нормируется максимальное значение темнового тока при максимальном напряжении. Фактическое значение темнового тока обычно на 1—2 порядка меньше.

Световой ток и фототок. Вследствие того, что при освещенности сопротивление фоторезистора уменьшается, ток через него возрастает. Ток через фоторезистор при наличии его освещенности называют световым током, а разность между световым и темновым токами — фототоком.

Принято нормировать для конкретных типов фоторезисторов минимальное значение светового тока при максимальном рабочем напряжении и освещенности 200 *лк*. Фактическое значение светового тока может быть в 2—5 раз больше указанного в табл. 12 минимального гарантируемого значения. Поскольку темновой ток в сернисто-кадмиевых и селенисто-кадмиевых фоторезисторах в сотни раз меньше светового тока, между их фототоком и световым током практически нет разницы.

Зависимость между световым током и освещенностью выражается люкс-амперными характеристиками фоторезисторов (рис. 29).

Значение светового тока практически пропорционально приложенному к фоторезистору напряжению, т. е. его вольт-амперные характеристики линейны (рис. 30). Эта закономерность нарушается только в области очень малых токов — близких по величине к темновому току. При уменьшении освещенности крутизна вольт-амперной характеристики уменьшается.

Чувствительность фоторезистора определяется как отношение изменения тока через фоторезистор к вызвавшему его изменению светового потока; выражается обычно в микроамперах на люмен [*мка/лм*]. Для фоторезисторов, предназначенных для работы при невидимых лучах, например инфракрасных, чувствительность определяют как отношение изменения тока к вызвавшему его изменению падающей энергии облучения в ваттах [*мка/вт*].

Удельная чувствительность. Так называют чувствительность, отнесенную к 1 *в* приложенного к фоторезистору напряжения; выражается она в микроамперах на люмен на вольт [*мка/лм·в*] или в микроамперах на ватт падающей энергии на вольт [*мка/вт·в*].

---

* Цветовая температура — условная температура нагретого тела, определяемая на основании сравнения его цвета с цветом абсолютно черного тела.

Численно цветовая температура физического тела равна температуре абсолютно черного тела, при которой сравниваемые цвета обоих тел одинаковы.

Таблица 12

Фоторезисторы

Тип фоторезистора	$R_{т. ном}$	Кратность изменения сопротивления не менее	$I_т$, *мка* не более	$I_{св}$, *ма*, не менее	$P_{ном}$, *мвт*	$P_{i\ макс}$, *мвт*	$U_{макс}$, *в*	$\tau_н$, *мсек*, не более	$\tau_с$, *мсек*, не более
			Сернисто-свинцовые						
ФСА-1, ФСА-1а	22 *ком*—1 *Мом*	1,2	—	—	10	3	*	0,04	0,04
ФСА-Г1, ФСА-Г2	47—470 *ком*	1,2	—	—	10	3	*	0,04	0,04
			Селенисто-кадмиевые						
ФСД-1, ФСД-1а	⩾2,2 *Мом*	150	10	1,5	50	20	20	40	20
ФСД-Г1	⩾2,2 *Мом*	150	10	1,5	50	20	20	40	20
СФЗ-1	⩾30 *Мом*	1 500	0,5	0,75	10	4	15	60	10
			Сернисто-кадмиевые						
СК-1, ФСК-1а	⩾3,3 *Мом*	100	15	1,5	125	50	50	50	30
ФСК-Г1	⩾3,3 *Мом*	100	15	1,5	125	50	50	50	30
ФСК-2	⩾3,3 *Мом*	20	30	0,6	125		100	140**	70**
СФ2-1	⩾15 *Мом*	500	1	0,5	10	—	15	80	20
СФ2-2	⩾2 *Мом*	500	1	0,5	50	—	2	60	20

* Для сернисто-свинцовых фоторезисторов предельное постоянное рабочее напряжение численно равно 0,1 $R_{т. ном}$.

** Средние значения.

Максимальная чувствительность фоторезистора определяется как произведение его удельной чувствительности на предельное рабочее напряжение.

Постоянная времени — время после освещения или затемнения (включения или выключения света), в течение которого световой ток увеличивается или уменьшается на 63% от установившегося значения (рис. 31), т. е. изменяется в e раз, где e — основание натуральных логарифмов. Увеличение освещенности и повышение напряжения на фоторезисторе уменьшают время спадания светого тока. Для конкретных типов фоторезисторов нормируют максимальное значение постоянной времени раздельно по нарастанию ($\tau_н$) и по спаданию ($\tau_{сп}$) соответственно после включения и выключения источника света, создающего освещенность 200 *лк*±10%.

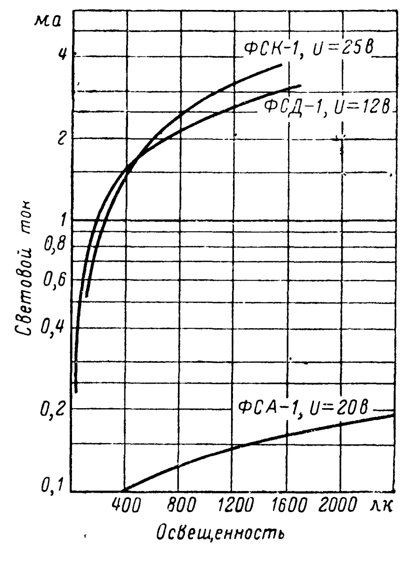


Рис. 29. Люкс-амперные характеристики фоторезисторов.

Температурный коэффициент светового тока — относительное изменение светового тока в процентах при изменении температуры на 1 *град*; имеет отрицательный знак. С увеличением освещенности численное значение температурного коэффициента светового тока уменьшается. Нормируют для конкретных типов фоторезисторов наибольшее возможное значение этого коэффициента в условиях освещенности 200 *лк*.

Предельное постоянное напряжение $U_{макс}$, указанное в табл. 12, относится к рабочему режиму фоторезистора, когда освещенность его составляет 200 *лк*. При меньшей освещенности допускается большее напряжение на фоторезисторе, но во всех случаях рассеиваемая на нем мощность не должна превышать допустимой для наибольшей температуры, возможной в эксплуатации.

Конструкция фоторезистора типа ФСА-1. Светочувствительный элемент в виде слоя сернистого свинца, нанесенного на стеклянную пластинку размером 12×7×2 *мм* с токоотводящими электродами из золота, заключен в пластмассовый корпус (рис. 32). В последнем имеется круглое окно, через которое производится освещение светочувствительного элемента. Поверхность его в окне покрыта тонким слоем прозрачного поливинилацетатного лака, который предохраняет сернистый свинец от загрязнения и механических повреждений, но надежной защитой от действия влаги не является. В другую сторону корпуса впрессованы два металлических контактных вывода в виде штырьков, соединенных с электродами на стеклян-

ной пластинке. Диаметр штырьков и расстояние между ними рассчитаны на включение в стандартную октальную ламповую панель.

Светочувствительный элемент описанной конструкции без корпуса выпускается под названием фоторезистора ФСА-1а или ФС-А0. Такие фоторезисторы применяют в случаях весьма ограниченного места в аппаратуре, включая их в электрические цепи с помощью прижимных контактов.

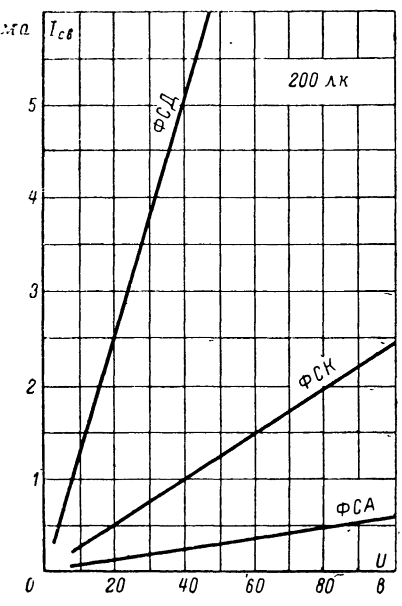


Рис. 30. Вольт-амперные характеристики фоторезисторов при освещенности 200 *лк* и температуре окружающей среды 20° С.

Конструкция фоторезисторов типов ФСД-1 и ФСК-1. Токопроводящий светочувствительный элемент представляет собой спрессованную из порошкообразного селенида кадмия (ФСД-1) или сернистого кадмия (ФСК-1) таблетку диаметром 8 и толщиной — 0,8—1 *мм*. Таблетка заключена в пластмассовый корпус, имеющий форму диска. Диаметр корпуса фоторезистора типа ФСД-1 — 18 *мм* и ФСК-1 — 28 *мм*, толщина корпуса 4—5 *мм*. В корпусе имеется круглое окно, через которое производится освещение светочувствительного элемента. Поверхность последнего в окне защищена от загрязнения и механических повреждений тонким слоем прозрачного поливинилацетатного лака. В другую сторону корпуса впрессованы два металлических контактных вывода в виде штырьков. Диаметр штырьков фоторезистора типа ФСД-1 и расстояние между ними рассчитаны на включение в стандартную 7-гнездную панель пальчиковых электронных ламп, а диаметр штырьков и расстояние между ними у фоторезистора типа ФСК-1 — на включение в октальную ламповую панель.

В фоторезисторах типов ФСД-1а и ФСК-1а (старые названия ФС-Д0 и ФС-К0) используются такие же прессованные из полупроводниковых материалов таблеточные светочувствительные элементы, как и в фоторезисторах типов ФСД-1 и ФСК-1, но корпусов они не имеют — таблетки наклеены на стеклянные пластинки размером 9×15 *мм*. Контактными выводами являются электроды в виде слоев серебра, нанесенных на поверхность стекла.

Используют фоторезисторы типов ФСД-1а и ФСК-1а в тех же условиях, как и фоторезисторы типа ФСА-1а, включая их в электрические цепи с помощью прижимных контактов или пайкой к серебряным электродам с применением легкоплавкого припоя.

Для длительной работы в атмосфере с высокой влажностью фоторезисторы типов ФСД-1, ФСК-1, ФСД-1а и ФСК-1а непригодны.

Конструкция фоторезистора типа ФСК-2 отличается от ФСК-1 только тем, что он имеет корпус прямоугольной формы размерами 28×12×5 *мм*.

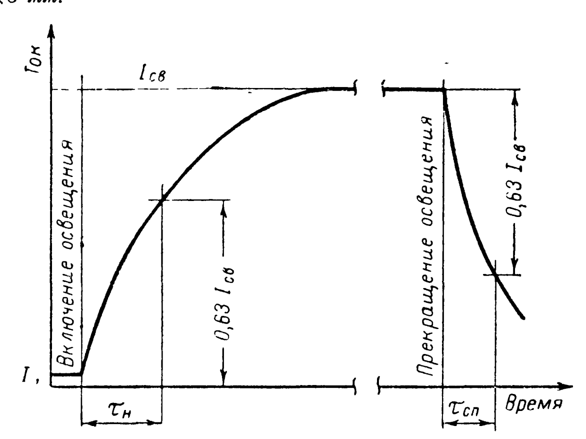


Рис. 31. К пояснению понятия «постоянная времени фоторезистора».

Герметичные фоторезисторы типов ФСА-Г1, ФСД-Г1 и ФСК-Г1. Светочувствительные токопроводящие элементы, аналогичные по конструкции элементам фоторезисторов типов ФСА-1, ФСД-1 и ФСК-1 (в ФСА-1 прямоугольной формы), заключены в металличе-

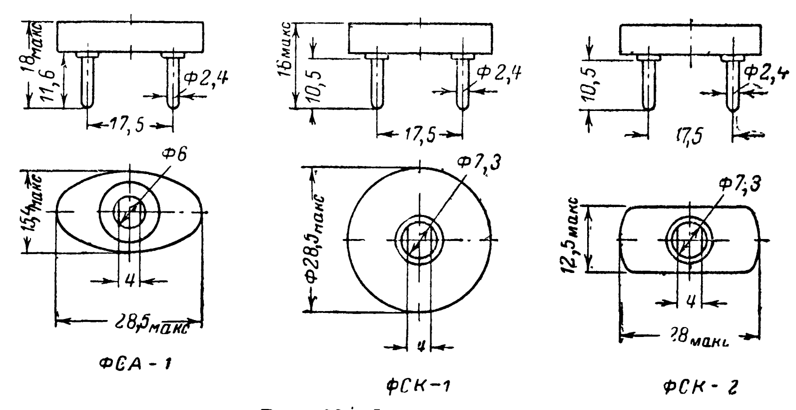
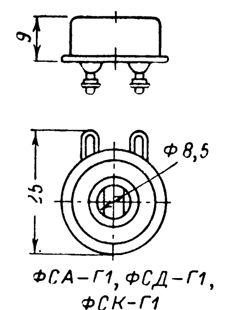


Рис. 32. Фоторезисторы.

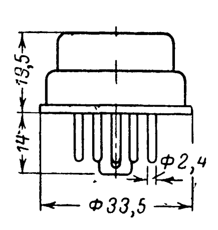
ские корпуса цилиндрической формы (рис. 33), имеющие максимальный диаметр 25 *мм* и высоту 9 *мм*. Освещение светочувствительного элемента осуществляется через круглое отверстие в корпусе,

закрытое стеклом. Поскольку корпуса этих фоторезисторов герметичны, они могут длительное время работать в атмосфере с высокой влажностью.

Герметичный фоторезистор типа ФСА-Г2 выполнен в металлическом корпусе, имеющем конструкцию, аналогичную баллону двойного диода 6Х6. Светочувствительный слой из сернистого свинца нанесен на стеклянную пластинку прямоугольной формы. На верхней поверхности корпуса имеется окно из стекла. Фоторезистор имеет стандартный октальный цоколь. Выводы из электродов подпаяны к штырькам *4* и *8*.



Малогабаритные фоторезисторы типов СФ2-1 и СФ3-1. Пленочный сернисто-кадмиевый (в СФ2-1) или селенисто-кадмиевый (в СФ3-1) светочувствительный элемент прямоугольной формы расположен на торце прямоугольного пластмассового основания размером 5×2,5×8 *мм* и защищен от воздействия влаги, загрязнения и механических повреждений толстым слоем прозрачного эпоксидного клея. Контактные выводы гибкие медные посеребренные диаметром 0,4 *мм.*



Малогабаритные фоторезисторы типов СФ2-2 и СФ3-2. Сернисто-кадмиевый пленочный светочувствительный элемент прямоугольной формы заключен в пластмассовый корпус размером 15×9×3,5 *мм* с окном из стекла. Контактные выводы гибкие медные посеребренные диаметром 0,4 *мм.*

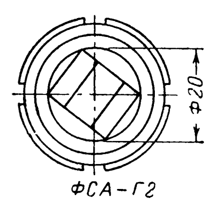


Рис. 33. Фоторезисторы в герметичных корпусах.

МОНТАЖ РЕЗИСТОРОВ

Ленточные и проволочные выводы резисторов (терморезисторов, варисторов) нельзя изгибать ближе чем на 5—10 *мм* от их корпусов. Изгибы должны быть плавными, с возможно большим радиусом закругления, иначе выводы могут надломиться.

Перегрев резистора может привести к изменению его сопротивления. Чтобы это не случилось, пайку гибких выводов постоянных резисторов следует производить на расстоянии не менее 5—10 *мм* от их корпусов. При этом вывод малогабаритного резистора у самого его корпуса следует плотно сжать плоскогубцами. Последние будут поглощать тепло, распространяющееся от паяльника к телу резистора по выводу, уменьшая тем самым нагрев резистора во время пайки. По той же причине процесс припаивания гибкого вывода постоянного резистора в схему, как и припаивания проводников к лепесткам переменных и подстроечных резисторов, должен быть возможно более коротким по времени — не более 10 *сек.* Если пайка не удалась, то ее рекомендуется повторять не ранее чем через 2—3 *мин* (время, необходимое для охлаждения резистора).

К электродам терморезисторов типа ММТ-9 и фоторезисторов ФСА-1а, ФСД-1а и ФСК-1а припаивать соединительные проводники

не рекомендуется, так как нагрев их может привести к значительному необратимому изменению сопротивления. Электрический контакт с электродами этих резисторов следует осуществлять с помощью медных или латунных лепестков внешним диаметром 15—18 *мм* и внутренним диаметром 8—10 *мм*, которые плотно прижимают к электродам терморезисторов. Монтажные проводники припаивают к этим лепесткам. Крепят шайбовые терморезисторы, пропуская через их отверстия винты, изолируя их шайбами из текстолита, гетинакса или иного изоляционного материала.

При всех видах монтажных паек можно применять только бескислотные флюсы.

Проволочные эмалированные резисторы крепят в аппаратуре с помощью металлических болтов или шпилек, пропускаемых сквозь внутренние отверстия их трубок. Навинчиваемые на болты (шпильки) гайки и металлические шайбы к ним изолируют от торцов резисторов шайбами из изоляционного материала, выдерживающего нагрев от резистора. Таким же способом можно крепить и мощные непроволочные резисторы видов ВС-5 и ВС-10. Если резистор находится под напряжением свыше 1—1,5 *кв*, то металлическое крепление следует дополнительно изолировать от шасси (монтажной панели).

ПЛАН МРБ НА 1969 г.

Общие вопросы

Match Вознюк В. В. В помощь школьному радиокружку 8,5 л. 40 000 экз. 34 к.

Козюренко Ю. И. Искусственная реверберация. 5 л. 20 000 экз. 12 к.

Радиолюбительские конструкции. (Указатель описаний за 1966—1968 гг.). Изд. 5-е, полностью обновленное. 18 л. 50 000 экз. 90 к.

Ротхаммель К. Антенны. (Перев. с нем.). Изд. 2-е. 21 л. 30 000 экз. 1 р. 09 к.

Смирнов А. Д. Радиолюбители — народному хозяйству. 10 л. 30 000 экз. 40 к.

Соколов С. Н. Задачник для радиолюбителей. 5 л. 30 000 экз. 20 к.

Тихомиров В. С. Стабилизация режима и параметров транзисторного каскада. 8 л. 40 000 экз. 32 к.

Хомич В. И. Ферритовые антенны. Изд. 2-е, 8,5 л. 30 000 экз. 34 к.

Радиоэлектроника и новая техника

Верхало Ю. Н. Твой друг — электроника. 6 л. 30 000 экз. 24 к.

Гаврилов С. Н. и Никулин С. М. Интегральная микроэлектроника. 8 л. 30 000 экз. 32 к.

Мартынов Е. М. Электронные устройства дискретного действия. Изд. 2-е. 12 л. 35 000 экз. 48 к.

Синельников А. Х. Электроника в автомобиле. 6 л. 30 000 экз. 24 к.

Тычино К. К. Пересчетные декады. 4 л. 30 000 экз. 16 к.

Эймишен Ж. Радиоэлектроника? ... Нет ничего проще! Перев. с франц. 18 л. 100 000 экз. 95 к.

Радиоприемники и усилители

Воробьев С. И. Учебный радиоконструктор на модулях. 4 л. 40 000 экз. 12 к.

Гендин Г. С. Высококачественное воспроизведение звука. 10 л. 60 000 экз. 40 к.

Гумеля Е. Б. Налаживание транзисторных приемников. Изд. 2-е. 4 л. 80 000 экз. 16 к.

Есаков В. Ф. и др. Автоматическая регулировка усиления в усилителях низкой частоты. 6,5 л. 40 000 экз. 26 к.

Соболевский А. Г. Твой первый радиоприемник. 4 л. 100 000 экз. 16 к.

Телевидение

Айсберг Е. и Дури Ж. П. Цветное телевидение? ... Это почти просто! Пер. с франц. 15 л. 70 000 экз. 81 к.

Ельяшкевич С. А. Телевизоры. (Справочные материалы.) 28 л. 150 000 экз. 1 р. 22 к.

Сикс А. Починить телевизор? ... Нет ничего проще! Перев. с франц. Изд. 2-е. 9,5 л. 75 000 экз. 45 к.

Сотников С. К. Переделка телевизоров. Изд. 3-е. 7 л. 125 000 экз. 28 к.

Тихомиров В. С. Синхронизация и развертка транзисторного телевизора. 10 л. 50 000 экз. 40 к.

Звукозапись

Алексеев Ю. А. и др. Как сконструировать магнитофон. 7 л. 50 000 экз. 28 к.

Василевский Д. П. Кассетные магнитофоны. 3 л. 45 000 экз. 20 к.

Корольков В. Г. Магнитная звукозапись. 18 л. 50 000 экз. 72 к.

Курбатов Н. В. и Яновский Е. Б. Справочник по магнитофонам. Изд. 3-е. 20 л. 150 000 экз. 90 к.

Онацевич М. А. Двигатели постоянного тока для магнитофонов. 5 л. 30 000 экз. 20 к.

Самодуров Д. В. Любительские магнитофоны. 7 л. 50 000 экз. 28 к.

Измерения и измерительные приборы

Акментыньш А. Я. Любительский куметр. 5 л. 30 000 экз. 20 к.

Грибанов Ю. И. Приборы и измерения в радиолюбительской практике. 12 л. 50 000 экз. 48 к.

Дудич И. И. Простые измерительные приборы. 6 л. 50 000 экз. 24 к.

Логинов В. Н. Электрические измерения механических величин. 5 л. 50 000 экз. 20 к.

Электронные приборы, источники питания

Грибенников Н. Д. Расчет выпрямителей и стабилизаторов. 9,5 л. 50 000 экз. 38 к.

Малинин Р. М. Питание радиоаппаратуры от электросети. Изд. 2-е. 9 л. 75 000 экз. 36 к.

Малинин Р. М. Резисторы. Изд. 2-е. 5 л. 125 000 экз. 20 к.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 22 коп.